TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA

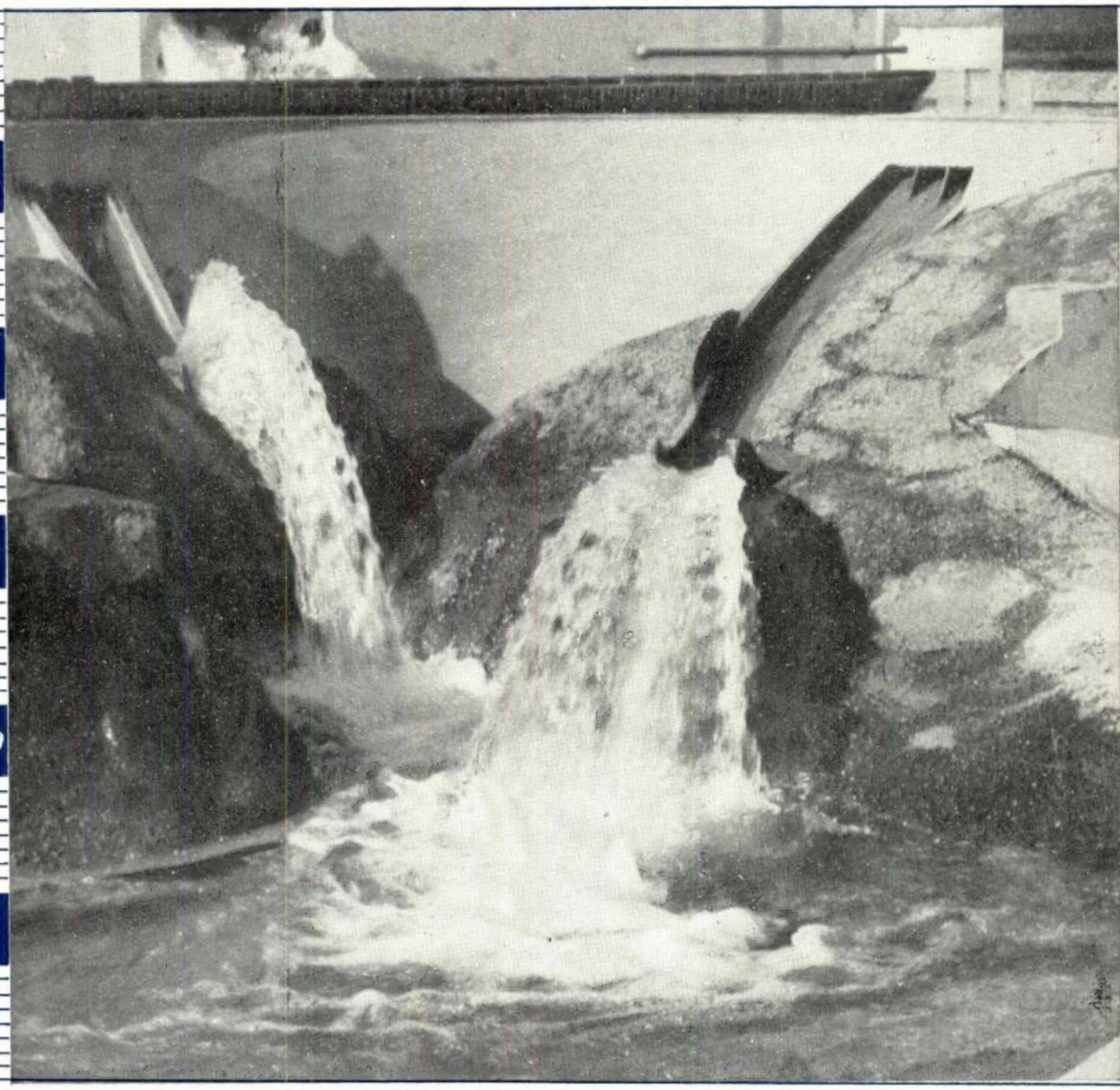
conomia

ecnologia

ociologia

nvestigação

edagogia



FEVEREIRO 1962

319

Associação dos Estudantes do Instituto Superior Técnico

CIMENTO SECIL

Fábrica:

Outão — Setúbal

Telef. 028824/5

Escritório:

R. do Comércio, 56-3.º

LISBOA 2

Telef. 328201/2/3

UNIÃO ELÉCTRICA PORTUGUESA

S. A R. L.

SEDE

Rua de Alexandre Herculano, 244 — PORTO

TELEFONES: 2 76 76/77/78/79 — Est. 90

DELEGAÇÃO

Rua Rosa Araújo, 35 — LISBOA

TEL.: 73 11 81/82/83/84/85/86 - 73 33 33 - 48 191

ELECTRICIDADE DO LINDOSO
E DAS CENTRAIS DO FREIXO
E DA CACHOFARRA

A **UNIÃO ELÉCTRICA PORTUGUESA** distribui, pela mais extensa rede de alta tensão em Portugal (cerca de 2 500 km), energia eléctrica em 70 concelhos, nos distritos de VIANA DO CASTELO, BRAGA, PORTO, AVEIRO, COIMBRA, VISEU, LEIRIA, SETÚBAL e ÉVORA.

4 papeis suiços de alta qualidade, para todas as necessidades técnicas

DÉPOSÉ SIHL SUPERBUS

Papel de desenho mate e acetinado granitado para aguarelas.

SIRIUS

Papel de desenho acetinado.

ASSISTENT

Papel de desenho mate.

Utoplex

Papel vegetal mate e acetinado.

Exija expressamente Papel Sihl
Papeteries Zuricoises sur Sihl Zurich

SIHL

Representantes em Portugal:
E. BRUNNER & CA., LDA., Rua de Aviz, 13, Porto
Distribuidores: DETÉCNICA
— Equipamentos Técnicos de Desenho, Ld.ª
Rua Nova do Almada, 32-34 — Telef. 3 36 48–3 43 03

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA DOS ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Ano XXXVII - N.º 319 Fevereiro de 1962

Redacção e Administração: AVENIDA ROVISCO PAIS, I.S.T. * LISBOA-N. * TELEF. 77 01 44 (Linha 50)

DIRECTOR
MIGUEL FALCÃO

ADMINISTRADOR
RAMIRO CONFRARIA

REDACTORES
JOSÉ FERNANDO PINHARANDA
JOSÉ ALBERTO FERNANDES
ANTÓNIO ALVES MACEDO
MANUEL DIAS FERREIRA

SECRETARIO
JOSÉ MANUEL GONÇALVES

★

NUMERO AVULSO 15$00

ASSINATURAS:

	3 N.os	5 N.os	10 N.os
Continente e Ilhas	37$50	60$00	110$00
Ultramar Português e Espanha	—	65$00	120$00
Estrangeiro	—	70$00	130$00

★

EDITOR E PROPRIETÁRIO
ASS. DOS ESTUD. DO I.S.T.

★

COMPOSTO E IMPRESSO
NA
Tip. JORGE FERNANDES, L.da
RUA CRUZ DOS POIAIS, 103
LISBOA

SUMÁRIO

CAPA — Barragem de Belesar, no Rio Minho, perto de Orense (Espanha). — Modelo reduzido para o estudo hidráulico, realizado no Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Págs.

Medidas de produtividade
Por José de Melo Torres Campos 297

Sugestão para um novo tipo de central hidroeléctrica: turbina em caverna e alternador à superfície . . . .
Por Fernando Vasco Costa e Luís Moreira Lobo 307

Notas informativas — **Elementos sobre a produção e o consumo de energia na rede eléctrica nacional . . . . .** 312

Rendimento e grau de expansão
Por Francisco de Almeida e Castro 313

Ondas na rebentação
Por Daniel Vera-Cruz 317

A análise metalográfica de gusas
Por P. Reis dos Santos 329

O emprego das brocas de coroa diamantada nas sondagens da Junta de Energia Nuclear
Por Diamantino Lucas Amaro 347

Demonstração e generalização do teorema de Kirchoff e da equação de Clapeyron-Clausius em Termoestática
Por José Joaquim Delgado Domingos 357

Do Mundo Técnico 365

Biblioteca 367

OS ARTIGOS PUBLICADOS NESTA REVISTA SÃO DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDADE DOS AUTORES

Índice Alfabético dos nossos anunciantes

Pág.

A

Agência Geral de Material Eléctrico, Ltd.ª XIII
A. Gestetner XLII
A. Johnson & Co (Portugal), Ltd. . . XXXVIII
Alfredo Alves XXXI
Araldite XXXIII
Azevedo & Pessi, Ltd. XXX

C

Cimento Secil . . . . . 2.ª da capa
Cimianto XLII
Companhia de Cimentos Brancos . . VIII
Companhia Cimento «Tejo» IV
Companhia Portuguesa dos Petróleos BP XXXVI
Companhia Portuguesa de Fornos Eléctricos XV
Companhia União Fabril . . XVIII e XXI
Construções Técnicas, Ltd.ª XXVII
C. Santos, Ltd.ª . . . . . X e XII

D

Detécnica . . . . . 2.ª da capa

E

Electro-Arco, Ltd.ª XXXIV
Electrotécnicos Reunidos XXXIV
Emílio de Azevedo Campos & C.ª, Ltd.ª XX
Empresa Electro Cerâmica XXXVII
Empresa Nacional de Aparelhagem Eléctrica XXIV
Empresa de Produtos Asfálticos . . . V
Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Ltd.ª . . . . . 3.ª da capa
Empresa Técnica de Equipamentos Eléctricos XI
English Electric VI
Eng.º Augusto Cavaco XXXIV
Estabelecimentos Herold XXXIX

F

Fábrica Portugal II
Fanafel XXII
Filfro, Lda. XX

G

Guedes & Almeida, Lda. XIV

Pág.

H

Harker Sumner & C.ª, Ltd. XXX
Henriques & Castro, Ltd.ª VIII
H. Vaultier & C.ª XXX

J

J. J. Gonçalves, Sucrs. XLI

M

Monteiro Gomes, Ltd.ª IX

O

Oficina de zincagem XXXIII
Orlando Fernandes XXII

P

Papelaria Fernandes XXIII
Pimentel & Casquilho, Ltd.ª III

S

S. E. Moniz da Maia & Vaz Guedes, L.da XVII
Soabal, Ltd. XXVIII
S. Com. de Isolamentos de Cortiça XXXV
Soc. Comercial Romar, Lda. . XXVI e XXXII
Sociedade Construtora Portuguesa, Ltd.ª I
Sociedade de Electricidade Brown Boveri . . . . . 4.ª da capa
Sociedade Industrial Metalúrgica . XLII
Sociedade Michaelis de Vasconcellos XVI
Sociedade Portuguesa Cavan IV
Sociedade Técnica de Equipamentos e Tractores, Lda. . . . . . (Intercalado)
Sonap XXV
Sondagens Ródio, Ltd.ª XLII
Standard Eléctrica VII

T

Tudor XIX

U

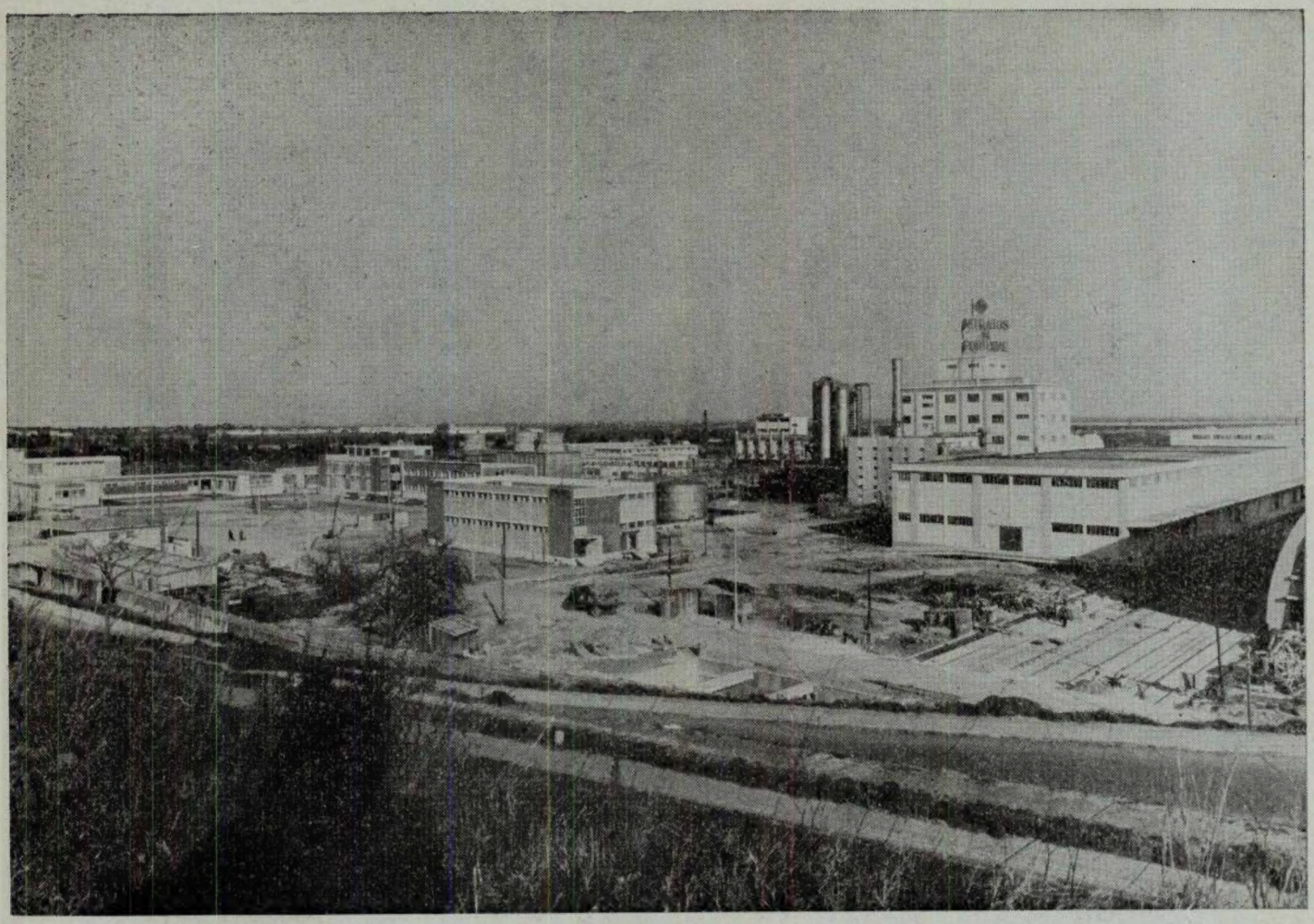
União Eléctrica Portuguesa . . . . . 2.ª da capa

V

Vitrofib XXXVII

W

Wild Portugal, Lda. XXIX



NITRATOS DE PORTUGAL
(Alverca)

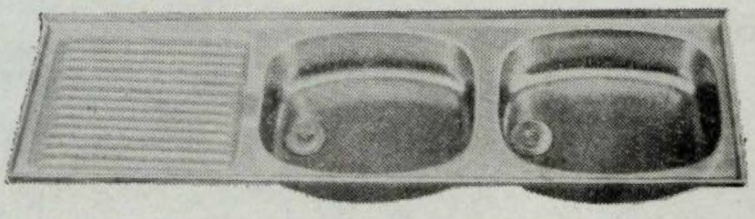
Assente sobre 1.453 Estacas Franki

FUNDAÇÕES FRANKI

Sociedade Construtora Portuguesa, Lda.

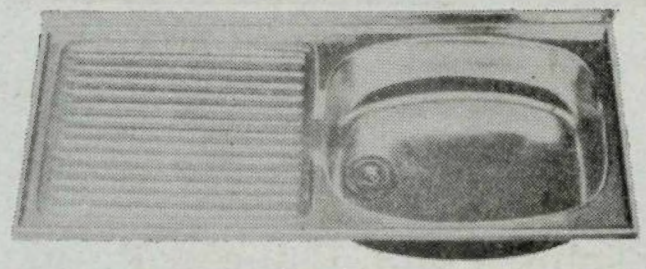
Praça do Areeiro, n.º 9, 4.º Esq. — Lisboa Tel. 72 60 61 e 72 99 11

LAVA-LOUÇAS EM AÇO INOXIDAVEL



Modernize os lares de Portugal, usando nas suas cozinhas Lava-Louças em AÇO INOXIDÁVEL. Concepção e execução da

FABRICA PORTUGAL



elegantes e higiénicos · duração ilimitada · revestidos de isolante especial · fornecidos com sifão de segurança · não partem a louça

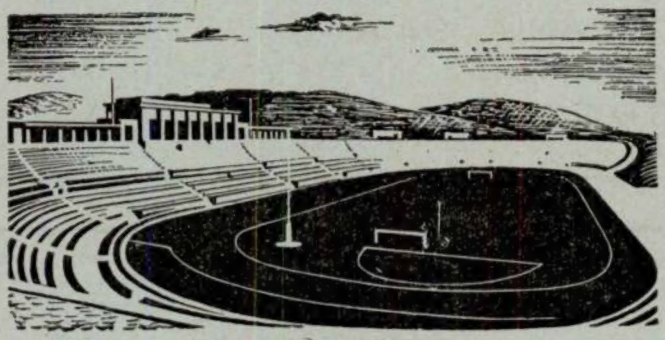
- 8 MODELOS STANDARD · OUTROS MODELOS FORA DE SÉRIE
- MODELOS ESPECIAIS PARA GRANDES INSTALAÇÕES
- IGUAIS AOS MELHORES ESTRANGEIROS

À VENDA NAS BOAS CASAS DA ESPECIALIDADE E NOS SEUS SALÕES DE EXPOSIÇÃO E VENDA

PRAÇA DOS RESTAURADORES - RUA FEBO MONIZ

PIMENTEL & CASQUILHO, L.DA

QUASE 40 ANOS AO SERVIÇO DA ENGENHARIA PORTUGUESA



GRANDE SORTIDO DE INSTRUMENTOS DE PRECISÃO, CIENTÍFICOS E INDUSTRIAIS

RUA DAS PORTAS DE SANTO ANTÃO, 75
LISBOA
TELEF.: 32 43 14 — 32 42 48 ✦ TELEG.: TECNA

CAVAN

SOCIEDADE PORTUGUESA

POSTES DE BETÃO PARA LINHAS ELÉCTRICAS

MOSAICOS E AZULEJOS

COLUNAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

MANILHAS PARA ESGOTOS

RUA D. ESTEFÂNIA, 94-A

TELEF. 47812-50129

LISBOA

COMPANHIA "CIMENTO TEJO"

PORTUGAL

TEJO

CIMENTO PORTLAND NORMAL

Em todos os trabalhos de responsabilidade utilize

CIMENTO TEJO

FÁBRICA EM ALHANDRA COM CINCO LINHAS DE FABRICO

SEDE: R. DA VITÓRIA, 88 — LISBOA 2

TELEF. 28953/28552

Celulite

ISOLAMENTO
TÉRMICO DAS
CONSTRUÇÕES

PAVIMENTOS
*
TECTOS
*
PAREDES
*
CÂMARAS
FRIGORÍFICAS
*
ISOLAMENTOS
INDUSTRIAIS

Terraços e pavimentos isolados com CELULITE no edifício da Comp.ª de Seguros Fidelidade — P. das Águas Livres — Lisboa

SETH, LDA. ✦ RUA FILIPE FOLQUE, 10-1.° ✦ TEL. 73 01 56 — LISBOA

Para impermeabilizar terraços,
paredes, fundações, etc.

COLAGEM DE
TACOS DE MADEIRA

TELEF. 73 0156 TELEG. EPALDA — LISBOA

EMPREZA DE PRODUCTOS ASFÁLTICOS
IMPERMEABILISADOR
IMEPA
RUA FILIPE FOLQUE, 10-1.º-LISBOA

FÁBRICA EM SACAVÉM

Para propulsão

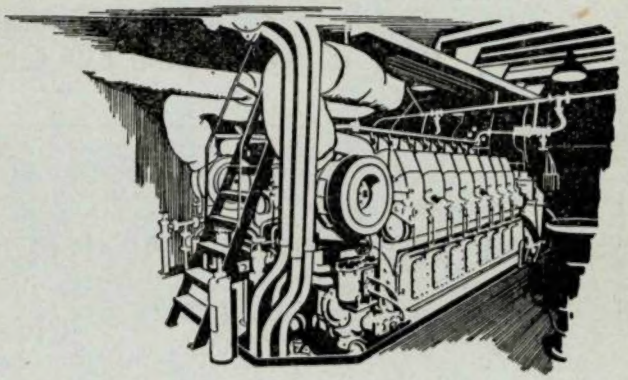
e serviços auxiliares

•

MOTORES DIESEL

TURBINAS

EQUIPAMENTO ELÉCTRICO



Uma organização ao serviço
das empresas armadoras

'ENGLISH ELECTRIC'

ENGLISH ELÉCTRICA DE PORTUGAL, LIMITADA
Rua Cascais, 47 (Alcântara) — LISBOA 3

Standard Electrica S.A.R.L.

Associada da

INTERNATIONAL TELEPHONE AND TELEGRAPH CORPORATION

DE NOVA YORK

TELECOMUNICAÇÕES

ELECTRÓNICA

AV. DA INDIA — LISBOA

O EMPREGO DO CIMENTO BRANCO...

permite acabamentos mais perfeitos, mais duradouros e muito mais económicos

Estude a vantagem do emprego do

CIMENTO BRANCO LUSO

Consulte os distribuidores gerais

No Sul: **SCIAL** — T. do Corpo Santo, 15 — Telef. 32 0464 — Lisboa
No Norte: **SCIAL** — R. do Bonjardim, 205 — Telef. 2 5779 — Porto

ESCAVADORAS

RUSTON-BUCYRUS, LTD.

E

BUCYRUS-ERIE & Co.

Modelos de 3/8 a 36 jardas cúbicas

As escavadoras de reputação mundial mais utilizadas no território português

Stock permanente de peças sobressalentes
Oficina de reparações
Técnicos e mecânicos especializados
Ensino e treino de operadores

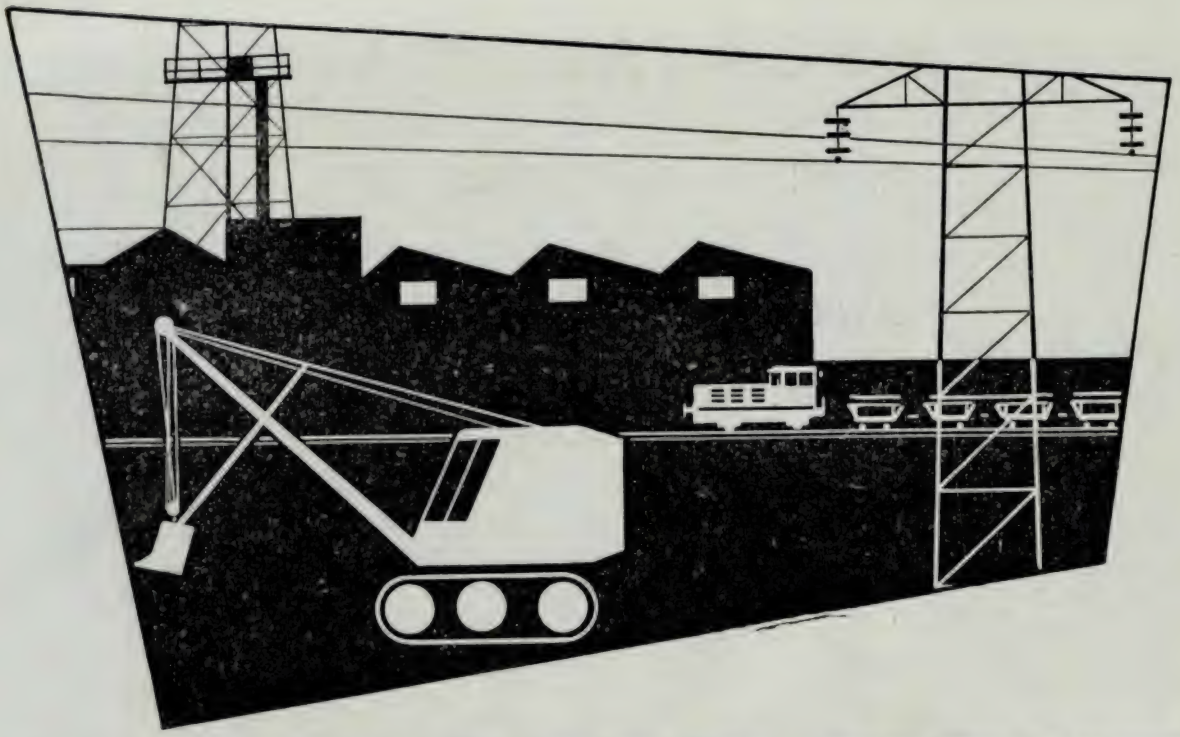
Representantes exclusivos para Portugal Continental e Ultramarino

MONTEIRO GOMES, LIMITADA

Rua Cascais, 47 (Alcântara)

LISBOA

LUANDA PORTO LOURENÇO MARQUES



MERCEDES-BENZ

MOTORES INDUSTRIAIS DIESEL

MOTORES PARA TODAS AS APLICAÇÕES INDUSTRIAIS
FAMOSOS EM TODO O MUNDO PELA SUA GRANDE ROBUSTÊS, ECONOMIA
DE CONSUMO E FACILIDADE DE MANUTENÇÃO
MODELOS DESDE 15 A 2.500 H. P.

EM ARMAZÉM:

MODELO M B 841 B	25 H. P. — 1.000 R. P. M.
MODELO M 202 B	55 H. P. — 1.200 R. P. M.
MODELO M 203 B	90 H. P. — 1.200 R. P. M.
MODELO M 204 B	120 H. P. — 1.200 R. P. M.

OUTROS MODELOS PARA ENTREGA MUITO RÁPIDA

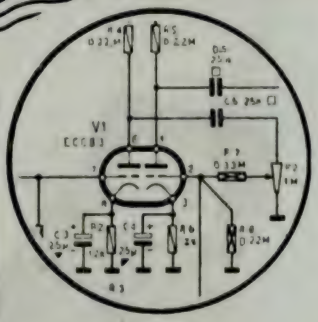
MOTORES A 4 TEMPOS · ARREFECIMENTO POR ÁGUA
ARRANQUE A AR COMPRIMIDO OU ELÉCTRICO

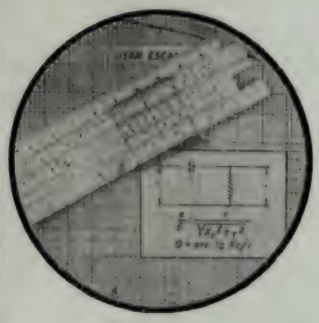
REPRESENTANTES C. SANTOS LDA. — DIVISÃO MARÍTIMA E TÉCNICA

29, AV. DA LIBERDADE, 41 — LISBOA
160, R. DE S.TA CATARINA, 168 — PORTO

EQUIPAMENTO DE AMPLIFICAÇÃO DE SOM

BEM CONCEBIDO CALCULADO CONSTRUIDO





LESA

A grande marca italiana

Representantes em Portugal

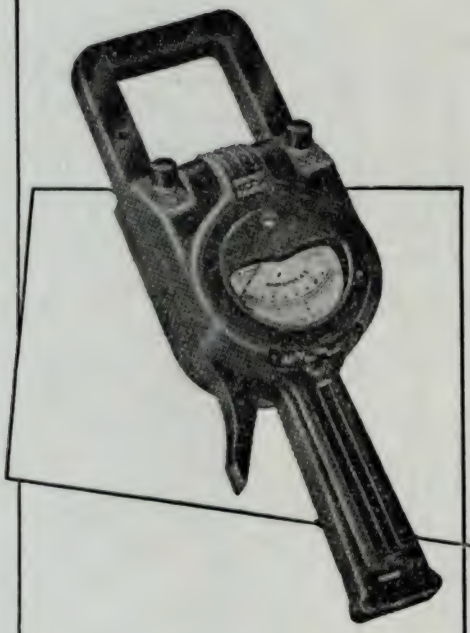
TELECTRA

EMPRESA TECNICA DE EQUIPAMENTOS ELECTRICOS, S. A. R. L.

Rua Rodrigo da Fonseca, 103, r/c
LISBOA — Tel. 68 60 72

Rua Sá da Bandeira, 766-1.º E.
Tel. 2 48 18 — PORTO

PINÇAS
FERRANTI



PINÇAS VOLT—AMPERIMÉTRICAS

7 ESCALAS

EM AMPÈRES	EM VOLTS
0 – 10 AMPS.	0 – 150 V
0 – 25 »	0 – 600 »
0 – 100 »	
0 – 250 »	
0 – 1000 »	

PINÇA WATTIMÉTRICA

7 ESCALAS

0 – 3 KW
0 – 6 »
0 – 12 »
0 – 30 »
0 – 60 »
0 – 120 »
0 – 300 »

REPRESENTANTES:

C. SANTOS LDA.

29, AVENIDA DA LIBERDADE, 41 — LISBOA

DIVISÃO MARÍTIMA E TÉCNICA
T. DA GLÓRIA, 17—LISBOA
160, R. STA. CATARINA, 168—PORTO

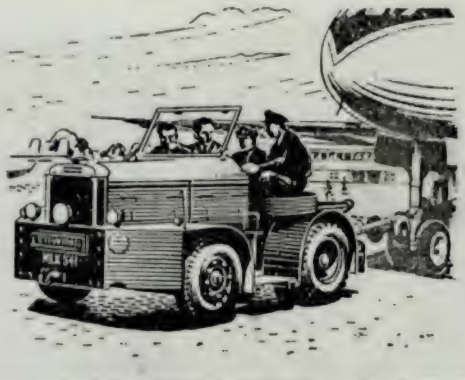
ORTOJECTOR RÁPIDO OR

DELEGADOS

AGMEL—AGÊNCIA GERAL DE MATERIAL ELÉCTRICO, L.DA

Rua dos Industriais, 4-1.º (às Côrtes) – LISBOA

Telef. 66 06 92 – 66 60 82 – 66 06 04



MERCURY

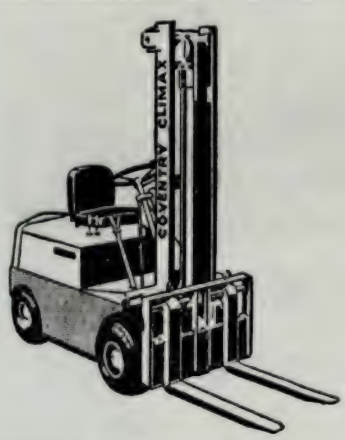
TRACTORES INDUSTRIAIS

Capacidades de reboque
até 300 Ton

COLES

GUINDASTES MÓVEIS

Capacidades até 60 Ton



Coventry Climax

EMPILHADORES

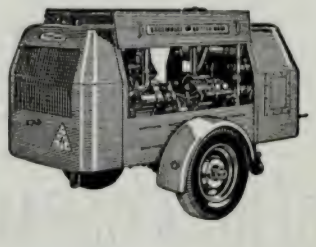
ELÉCTRICOS DIESEL GASOLINA

Capacidades até 3 Ton

"BROOMWADE"

COMPRESSORES

PORTÁTEIS E FIXOS
ROTATIVOS E ALTERNATIVOS
E FERRAMENTAS PNEUMÁTICAS



GUEDES & ALMEIDA, LDA. • R. S. Nicolau, 71-4.º—Tel. 25080 • LISBOA 2

COMPANHIA PORTUGUESA DE FORNOS ELÉCTRICOS

PRODUTORA DE

FERRO GUSA

FERRO LIGAS

FERRO-MANGANÊS

SÍLICO-MANGANÊS

FERRO-SILÍCIOS

15 % - 25 % - 45 % - 75 % - 90 %

CARBONETO DE CALCIO

CIANAMIDA CÁLCICA

PASTA PARA ELÉCTRODOS

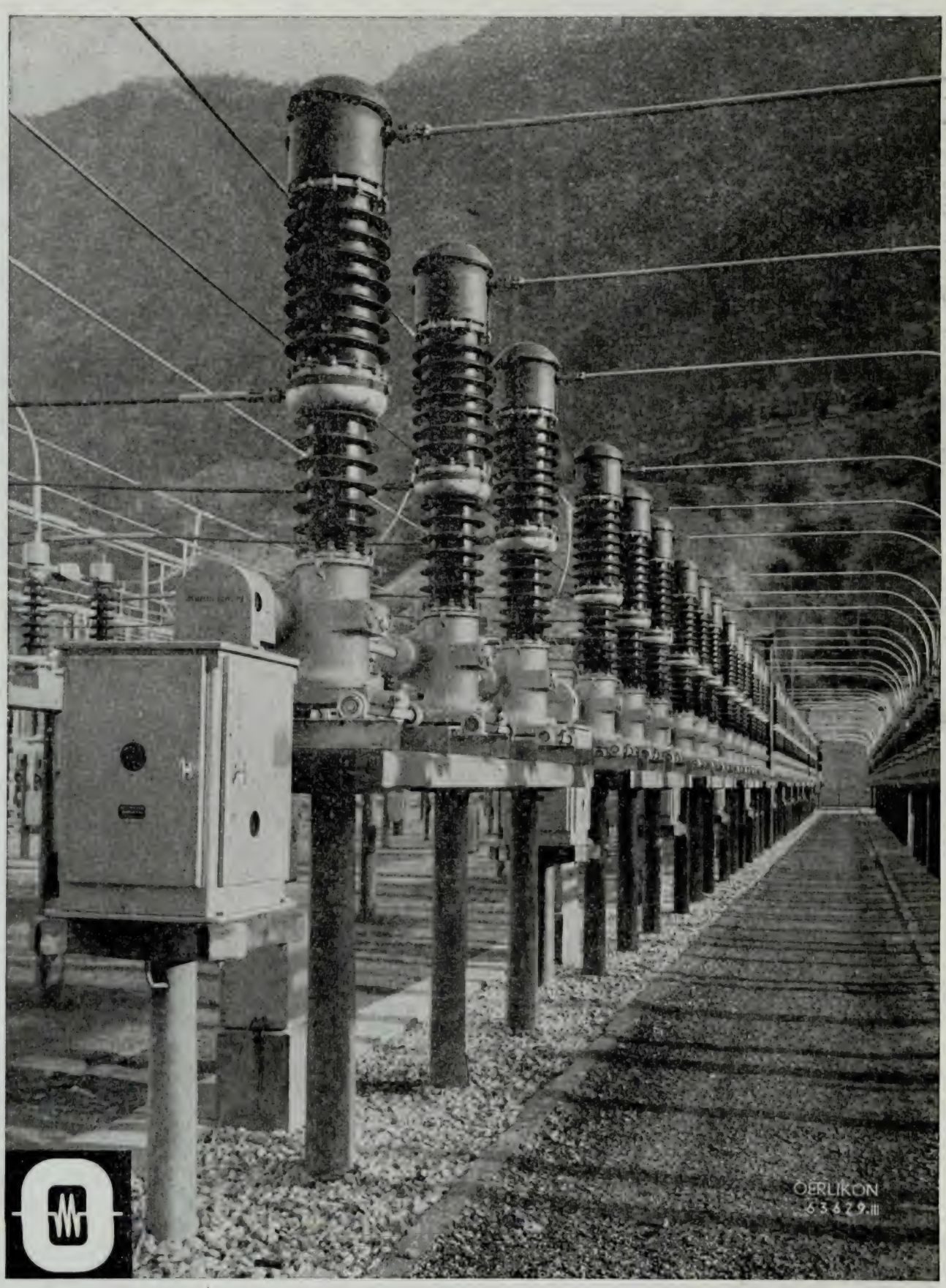
E EM MONTAGEM

GRAFITE

FÁBRICAS
CANAS DE SENHORIM
Telefone 67222

SEDE
Largo de S. Carlos, 4-2.º — LISBOA
Telefones 325343-35556-368989

Ateliers de Construction Oerlikon · Zurich 50



Disjuntores de pequeno volume de óleo, de alto poder de corte, tipo TOFQ 60.12, 2.500 MVA, tensão nominal 60 kV, intensidade nominal 1.200 A, numa instalação ao ar livre

Representante para Portugal e Ultramar: Sociedade Michaëlis de Vasconcelos, Lda.
PORTO — Pr. da Liberdade, 114 LISBOA — Av. Marquês de Tomar, 94

TÉCNICA

DIRECTOR: MIGUEL FALCÃO
ADMINISTRADOR: RAMIRO CONFRARIA
SECRETÁRIO: JOSÉ MANUEL GONÇALVES

Ano XXXVII — N.º 319 Fevereiro de 1962

C. D. U. 658.1.011

MEDIDAS DE PRODUTIVIDADE

POR JOSÉ DE MELO TORRES CAMPOS
Eng.º Elect.º (I. S. T.)
Assistente do I. N. I. I.

1 — INTRODUÇÃO

1.1 — *Definição de Produtividade* — Nestes últimos anos têm sido dadas inúmeras definições de Produtividade, e no entanto o conceito não é ainda completamente compreendido, talvez porque o seu próprio significado tenha sofrido uma certa evolução.

Com efeito, em face da clássica definição de Produtividade como «a relação entre a Produção dum determinado produto (output), medida em unidades físicas, e um ou mais dos correspondentes factores de produção (input) também medido em unidades físicas» (1), encontramos agora a definição de Produtividade como «a medida da economia de meios» (2).

Esta última concepção parece implicar que a Produtividade pode ser considerada como uma medida de eficiência. É esta a opinião de P. S. Florence, quando considera o «output» por operário (ou operário-hora) (3), mas deste modo evidenciando-se apenas um dos factores de produção, o trabalho. Ora sabe-se que muitas empresas podem ser altamente eficientes, do ponto de vista dos lucros que realizam, mesmo possuindo baixos índices de produtividade do trabalho (produção por operário-hora), e também é certo que valores elevados destes índices não são condições suficientes para uma rentabilidade elevada numa empresa.

Assim, o conceito de Produtividade expresso como

$$P = \frac{O}{I}$$

sendo

P — Produtividade
O — Output
I — Factor de Input

tem um interesse muito relativo, mesmo não considerando a dificuldade de calcular exactamente os termos O e I.

O mesmo pode dizer-se do conceito mais geral expresso por

$$P = \frac{O}{\Sigma I}$$

(1) Mesure de la Productivité — Méthodes pratiquées par le Bureau des Statistiques du travail aux U. S. A. Rapport de l'OECE — Paris 1952 — Pag. 17.

(2) Mesure de la Productivité — Vol. I. — Concepts-A. E. P. Paris 1955, pág. 23.

(3) P. S. Florence — The Logic of British and American Industry — Cap. II. Londres 1953.

sendo

ΣI — a soma de todos os factores de «input», com a dificuldade suplementar de encontrar uma maneira lógica de somar os diferentes factores de I.

É ligada a esta imprecisão que vemos apelidar de *equívocas* (4) expressões como as de Produtividade do trabalho, Produtividade do capital, etc., porquanto parecem implicar que existe uma simples relação de causa e efeito entre as grandezas em foco, quando na realidade as relações causais envolvidas são muito mais complexas.

Apesar disto o conceito de Produtividade tem valor real como uma medida aplicável a fins específicos, a qual pode habilitar-nos a um melhor conhecimento das causas de várias situações e auxiliar-nos a corrigi-las e ou, a melhorá-las. Dificilmente pode dar-nos uma medida exacta do valor absoluto das melhorias alcançadas, mas pode mostrar-nos se estamos no bom caminho, e qual a nossa posição comparativa em relação a standards conhecidos.

1.2 — *Produtividade do Trabalho* — Na grande maioria dos estudos efectuados, nos Estados Unidos desde 1930 e na Europa desde 1950, particularmente na Áustria, Bélgica, Dinamarca, França, Alemanha, Holanda, Noruega e Grã-Bretanha, todo o ênfase tem sido dedicado à *Produtividade do Trabalho.*

É perfeitamente evidente que, principalmente no caso duma empresa, a produtividade do trabalho tem tanto maior importância quanto maior for a quota parte do trabalho no custo total de produção. Note-se porém que ela pode conservar um elevado grau de importância, quando o trabalho embora represente uma fraca percentagem do custo total de produção, seja o factor que pode ser mais ràpidamente influenciado e onde portanto reduções apreciáveis do custo de produção podem obter-se mais ràpidamente. Indirectamente, uma melhoria da Produtividade do trabalho, corresponde a uma melhor utilização do equipamento e portanto a maior divisão dos encargos fixos. Além disso a Produtividade do trabalho é geralmente a de mais fácil medida.

Estas são talvez as principais razões que levam a Produtividade do trabalho a ocupar uma posição tão proeminente que se confunde comummente o seu significado particular com o sentido mais geral de «Produtividade». Pessoalmente pensamos que esta particularização não é muito saudável, e é gostosamente que citamos aqui uma das personalidades mais entusiastas da generalidade da Produtividade do trabalho, o Dr. L. Rostas, que depois de afirmar (5) «a Produtividade do trabalho é uma medida de eficiência geral da utilização do trabalho e não do esforço dispendido na execução dum trabalho, o qual é òbviamente um conceito demasiado estreito para ter valor de interesse», acrescenta «A Produtividade do trabalho é influenciada pelo efeito combinado dum grande número de factores separados, ainda que inter-relacionados, tais como o número e a qualidade do equipamento usado, as melhorias técnicas introduzidas, o grau de eficiência dos quadros directivos, o bom ou mau abastecimento de matérias primas e doutros componentes, a interdependência das secções fabris nos diversos níveis, tudo isto interferindo tanto como a habilidade e o esforço do trabalhador». A extensão desta lista de factores inter-relacionados fala por si só. É absolutamente certo que a Produtividade do trabalho pode fornecer boas medidas e indicações num grande número de casos e de facto assim tem sido em inúmeros dos estudos realizados, mas não deve ser considerada como uma medida geral da Produtividade, igualmente aplicável a qualquer situação específica, e em níveis tão diferentes como os

da secção fabril
da empresa
do sector industrial
da Nação

(4) G. Deurinck in «Mesure de la Productivité» — Vol. I — Concepts A. E. P. Paris 1955 — Pág. 15.
(5) Dr. L. Rostas in «Mesure de la Productivité» — Vol. I Concepts — A. E. P. — Paris 1955 — Pág. 34.

2 — AS MEDIDAS DE PRODUTIVIDADE AO NÍVEL DA NAÇÃO E AO NÍVEL DA EMPRESA

2.1 — *Utilização* — «Produtividade significa aquele equilíbrio entre os factores de produção que conduz ao maior «output» através dum esforço mínimo» . . . «Aumentar a Produtividade é simultâneamente a *chave* para um elevado nível de vida, e o *resultado* duma actividade empresarial» (6).

Consideramos esta segunda declaração particularmente feliz e a melhor para nos introduzir na utilização de medidas de Produtividade nos dois níveis:

da Empresa
da Nação

Indiquemos pois sumàriamente as principais vantagens que podem colher-se das medidas de Produtividade.

1.º — Ao nível da Nação — A Produtividade é um dos determinantes do Produto Nacional; consequentemente, com o contínuo uso de análise do Rendimento Nacional como ferramenta para formular políticas económicas e fiscais as estimativas de Produtividade são cada vez mais usadas na previsão do Rendimento Nacional, necessidades de mão-de-obra, etc.

2.º — Por sectores Industriais — Pondo em relevo características comuns, assim como diferenças entre firmas, e podendo assim indicar os factores técnicos, económicos, ou de direcção e organização, que determinam os níveis de Produtividade encontrados.

3.º — Medidas ao nível da Empresa — Podem considerar-se medidas englobando:

a) a totalidade da Empresa
b) uma secção ou linha de fabrico singularizada
c) uma operação individual

o objectivo aqui é o de fazer luz sobre a eficiência de organização da Empresa ou secção considerada.

Finalmente um resultado indirecto das medidas de Produtividade que deve ser notado, é o de que a própria natureza das informações requeridas para a sua determinação chama a atenção de muitas firmas para a importância de adoptarem um sistema de contabilidade satisfatório e de conservar um meio de verificar a documentação que reflecte a eficiência de funcionamento da Empresa.

Em qualquer destes casos as medidas de Produtividade a ser tomadas não serão sempre as mesmas, porquanto elas dependem principalmente do objectivo específico de cada estudo.

Ao nível Nacional tem havido também uma tendência para considerar quase sòmente a Produtividade do trabalho. Esta atitude não deixa de ser perigosa. Com efeito: «A Produtividade do Trabalho é de fundamental importância do ponto de vista económico. A expansão dos modernos sistemas económicos é baseada numa expansão do poder de compra, do qual a maior fonte tem a sua nascente no aumento dos salários totais pagos ao trabalho. No entanto deve ser claramente compreendido que as tendências na Produtividade do tradalho *não fornecem por si qualquer indicação para as causas* duma particular mudança na Produtividade. Para o empresário a medida da Produtividade do trabalho não fornece uma informação suficientemente exacta; é apenas uma indicação entre várias que são necessárias» (7).

Pessoalmente, somos de opinião de que medidas de Produtividade no Plano Nacional são ainda mais difíceis de estabelecer, pelo menos se lhes for exigido algum grau de veracidade; quanto mais largo é o campo no qual as medidas têm de ser tomadas, mais difícil se torna estabelecer hipóteses definidas cobrindo igualmente todas as situações interessadas.

---

(6) Peter Drucker in «The Pratice of Management» — Heinemann — London 1961 — Pág. 33.
(7) G. Deurinck in «Mesure de la Productivité» — Vol. I — Concepts — A.E.P. — Paris 1955 — Pág. 15 e 16.

Existe pois, neste caso, um maior perigo de ver numa simples correlação, uma *relação de causa*, o que não é forçosamente verdadeiro.

Apresentamos um exemplo [8], que nos parece elucidativo se bem que se trate dum raciocínio inverso do que nos preocupa:

> «Trata-se de relacionar o aumento dos encargos de estrutura de carácter administrativo e o aumento da produtividade do trabalho. Sendo:
>
> A — número do pessoal administrativo
> P — » » » de produção
>
> diz-se que, as provas disponíveis não evidenciam nenhuma relação sistemática entre as grandezas A/P e a produtividade do trabalho, quer em determinados períodos (diferentes), quer ao longo do tempo».

Pensamos que esta conclusão não é relevante (o que não significa que não seja verdadeira, em última análise), porquanto o tipo de pessoal administrativo considerado, não foi devidamente explicitado.

O problema não será o mesmo se distinguirmos entre pessoal executivo directamente ligado à produção, Serviços de Métodos, de Planeamento e Controle da Produção, de Conservação, etc., e pessoal puramente administrativo ou de Serviços, como os de Pessoal por ex., cujo aumento de efectivos pode ter tido razões independentes daquelas relacionadas com o aumento de produção por operário-hora (regulamentos governamentais, relações com Sindicatos, Serviços Sociais, etc.).

Apresentamos este exemplo apenas para evidenciar o cuidado que deve por-se quando se *definem hipóteses*, para que as medidas de Produtividade possam ter significado válido.

3 — MEDIDAS DE PRODUTIVIDADE AO NÍVEL DA EMPRESA

3.1 — *Tipos de medidas* — Podem ser aqui englobadas as medidas considerando a Empresa no seu conjunto e as medidas de cada um dos seus departamentos ou secções.

Ambos os géneros têm sido explorados em estudos interessando sectores industriais específicos, de países do ocidente Europeu, tipo comparação de empresas.

A maior dificuldade destas medidas surge sempre que se trata de produções complexas, o que é muito frequente; repare-se que numa secção fabril duma Empresa, a produção é muito mais uniforme e é possível um mais elevado grau de precisão.

Em ambos os casos podem usar-se:

a) Medidas em unidades físicas
b) Medidas em unidades monetárias

Deixamos por ora as medidas em valor, que trataremos no último capítulo, considerando de momento apenas as efectuadas em unidades físicas.

Tomemos inicialmente a produção (output) e um só dos factores de produção (input), o trabalho por exemplo; pode escrever-se duma maneira geral:

l_o — número de horas-operário dispendidas por unidade de produção, durante o período o.

l_i — número de horas-operário dispendidas por unidade de produção, durante o período i.

(8) Seymour Melman in «Dynamic Factors in Industrial Productivity» Cap. XVII — Basil Blackwell — Oxford 1956.

qo — quantidades (número de unidades) produzidas durante o período *o*.

qi — quantidades (número de unidades) produzidas durante o período *i*.

donde:

$$K = \frac{li}{lo}$$

é o índice da quantidade de trabalho dispendido por unidade de produto.

$$K' = \frac{qo\ lo}{li} : qo = \frac{lo}{li}$$

é o índice do número de unidades produzidas pela mesma quantidade de trabalho.

No caso mais geral duma produção complexa, surgem os índices clássicos:

$$I = \frac{\Sigma\ qi\ li}{\Sigma\ qi\ lo} \quad \text{(Paasche)}$$

$$J = \frac{\Sigma\ qo\ li}{\Sigma\ qo\ lo} \quad \text{(Laspeyres)}$$

I — Compara o número de horas de facto dispendidas durante o período *i* e o número de horas que teriam sido dispendidas durante o período *i*, se as quantidades de trabalho necessárias por unidade de produto tivessem permanecido as mesmas que eram no período *o*.

J — Compara o número de horas de facto dispendidas durante o período de referência *o* e o número de horas que teria sido dispendido durante o mesmo período se as quantidades de trabalho necessárias por unidade de produto tivessem sido aquelas que prevaleceram durante o período *i*.

Na prática o cálculo dos índices I e J efectua-se sob uma forma ligeiramente modificada susceptível de introduzir os índices do número total de horas necessárias e do volume físico da produção (9). Com efeito pode escrever-se

$$I = \frac{\Sigma\ qi\ li}{\Sigma\ qi\ lo} = \frac{\Sigma\ qi\ li}{\Sigma\ qo\ lo} : \frac{\Sigma\ qi\ lo}{\Sigma\ qo\ lo} \tag{1}$$

$$J = \frac{\Sigma\ qo\ li}{\Sigma\ qo\ lo} = \frac{\Sigma\ qi\ li}{\Sigma\ qo\ lo} : \frac{\Sigma\ qi\ li}{\Sigma\ qo\ li} \tag{2}$$

o cálculo dum ou doutro destes índices transforma-se assim no cálculo:

— por um lado dum índice do número total de horas necessárias, o mesmo nos 2 casos (primeiro termo do segundo membro de (1) e (2);

— por outro lado, dum índice de produção que é ponderado com os *lo* (2.° termo da equação (1), índice tipo Laspeyres), ou com os *li* (2.° termo da equação (2), índice tipo Paasche).

Portanto, fazendo intervir apenas considerações de ordem prática para escolher entre os índices I e J (e foi esta a posição tomada pelo Bureau of Labour Statistics, E. U. A.), tra-

(9) Bureau of Labour Statistics (U. S. A.) — Mesure de la Productivité; méthodes pratiquées par le B. L. S. aux U. S. A. — O. E. C. E. Paris, 1952, Pág. 103.

ta-se apenas de escolher, das duas fórmulas precedentes, a que conduz a um cálculo mais cómodo para o índice de produção.

O B. L. S. seguindo o método utilizado pela maioria dos países para o cálculo dos índices nacionais do volume da produção industrial, utiliza mais geralmente a fórmula tipo Laspeyres (segundo membro da equação (1)), em que a principal vantagem prática está em introduzir apenas um sistema de coeficientes de ponderação, que são os correspondentes ao período tomado como referência.

Note-se que na análise que acabamos de enunciar, e que é a utilizada pelo Bureau of Labour Statistics dos Estados Unidos, considera-se como factor de «input» o trabalho. É evidente que as considerações feitas se podem estender a outro qualquer factor de produção que queira individualizar-se.

3.2 — *Dificuldades e causas de erro* — A utilização destes índices levanta dois problemas:

1.º — Escolher uma medida para a produção. Num caso de produções complexas isto significa a necessidade de *corrigir* a produção real por meio de coeficientes de equivalência.

2.º — Escolher as quantidades de trabalho interessadas na produção considerada, o que nos leva aos conhecidos problemas de incluir ou não o pessoal administrativo e a mão-de-obra indirecta, ou apenas a mão-de-obra directa. Neste campo qualquer solução pode ser tomada, sendo o mais importante que o critério adoptado se mantenha rigorosamente constante, ao longo do tempo, e para todas as secções ou Empresas em que está a efectuar-se o estudo de medida. Num estudo realizado para a indústria norueguesa de tijolos foi introduzida uma interessante sub-divisão da mão-de-obra indirecta (10):

a) o tempo de mão-de-obra indirecta cuja actividade varia mais ou menos proporcionalmente com a produção e chamado tempo de mão-de-obra indirecta proporcional.

b) o tempo da restante mão-de-obra indirecta, chamado tempo de mão-de-obra indirecta não proporcional

Os dois problemas levantados são razões de falta de precisão a que deve acrescentar-se uma outra de natureza diferente, e muito importante, assinalada entre outros, por M. Moriceau (11), que afirma: «As medidas directas de Produtividade numa Empresa considerada no seu conjunto, conduzem a resultados erróneos, sempre que haja *variações no grau de utilização* das diferentes secções da Empresa».

Apresenta depois um exemplo muito sugestivo, que não resistimos em reproduzir:

«Numa fundição, existem 2 secções de moldação

A — moldações feitas manualmente
B — moldações mecânicas

podendo imaginar-se uma Produtividade do trabalho, e uma utilização das secções como esta:

SECÇÃO	Outubro 1953		Novembro 1953	
	Produtividade	Utilização	Produtividade	Utilização
A	13 Kg/hora	5.000 horas	14 Kg/hora	5.000 horas
B	70 Kg/hora	5.000 horas	70 Kg/hora	4.000 horas

(10) Prof. Knut Holt in «Revue de la Mesure de la Productivité».

(11) Moriceau in «Revue de Statistique Appliquée», Paris 1959, Vol. II, n.os 3 e 4.

e portanto no conjunto (A + B):

OUTUBRO

Produção = 13 × 5.000 + 70 × 5.000 = 415.000 Kg

Horas de trabalho = 5.000 + 5.000 = 10.000 h

$$\text{Produtividade do trabalho} = \frac{415.000}{10.000} = 41{,}5 \text{ Kg/hora}$$

NOVEMBRO

Produção = 14 × 5.000 + 70 × 4.000 = 350.000 Kg.

Horas de Trabalho = 5.000 + 4.000 = 9.000 h.

$$\text{Produtividade do trabalho} = \frac{350.000}{9.000} = 38{,}8 \text{ Kg/hora}$$

O índice de Produtividade baixou de 41,5 em Outubro para 38,8 em Novembro e òbviamente este resultado é *oposto* à realidade».

Esta é a principal razão pela qual M. Moriceau defende as medidas de Produtividade por secções de trabalho individualizadas.

Consideremos agora o problema da correcção da Produção, no caso corrente de serem produzidos vários artigos diferentes na mesma secção fabril.

É certo que nalguns casos pode evitar-se a correcção por coeficientes de equivalência de que vamos falar a seguir, tratando separadamente cada um dos produtos fabricados, mas este processo só é aplicável a número muito pequeno de casos.

Vamos introduzir a noção de coeficientes de equivalência e a sua utilização por meio dum exemplo, e podemos continuar a socorrer-nos do trabalho já citado de M. Moriceau (caso duma fundição):

«É escolhida uma série de pesos de material fundido distribuídos por classes e relacionados pelo tempo médio consumido na execução da operação considerada:

	Classes de pesos	Tempo médio por kilo (em segundos)	Coeficiente
	1-2	800	4,44
	2-4	620	3,44
	4-8	480	2,67
	8-16	390	2,17
	16-32	300	1,67
	32-64	250	1,39
classe Standard	64-128	180	1,00
	128-256	135	0,75
	256-512	112	0,62
	512-1.024	86	0,48

E agora sendo dada uma produção, podemos ter um peso bruto e um *Peso corrigido*. Por exemplo:

Classe de pesos	Peso real produzido (toneladas)	Coeficiente	Peso corrigido (toneladas)
4 a 8 Kg	100	2,7	270
32 a 64 Kg	200	1,4	280
256 a 512 Kg	200	0,6	120
TOTAL	500		670

O total dos pesos corrigidos é agora uma medida física aceitável para a Produção da secção que nos ocupa».

É claro que só se considerou a variável peso, mas nada impede que, sendo necessário, se completasse a correcção com

— coeficiente função do número de machos
— » » da forma
— etc.

4 — CONCEITO DE PRODUTIVIDADE GLOBAL

4.1 — *Medidas em valor* — No capítulo anterior chegamos a uma medida física corrigida de produção (output). Podemos agora relacionar esta produção corrigida com qualquer dos factores de produção (input) e obter medidas de Produtividade, tais como:

$$\frac{\text{Produção corrigida}}{\text{Tempo de mão-de-obra}} = \text{Produtividade do Trabalho}$$

$$\frac{\text{Produção corrigida}}{\text{Capacidade de Produção}} = \text{Produtividade do Equipamento}$$

$$\frac{\text{Produção corrigida}}{\text{Consumo de matérias-primas}} = \text{Produtividade das matérias-primas}$$

etc.

devendo notar-se que estas medidas não são de modo algum independentes umas das outras.

Na Produtividade global duma Empresa (ou duma Secção da Empresa) expressa por:

$$G = \frac{P}{\Sigma f}$$

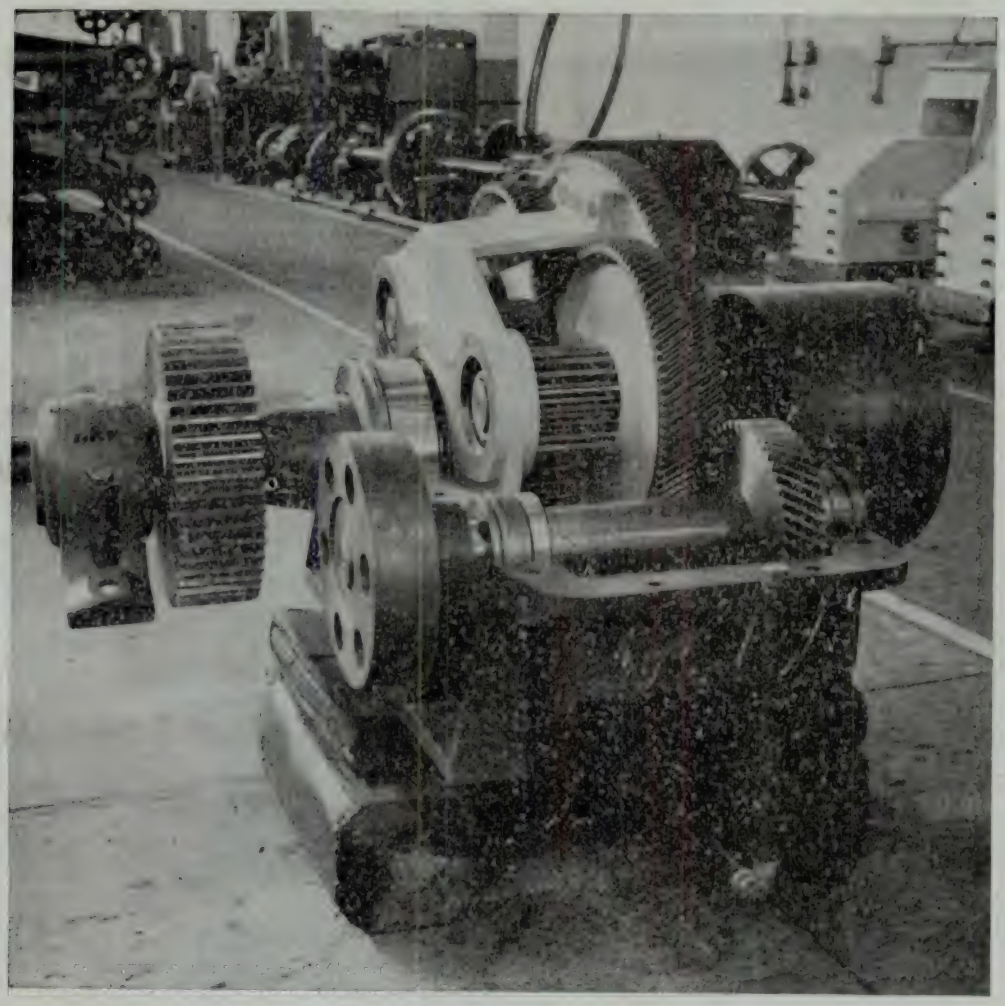
em que Σf é a soma total dos factores de «input», tais como:

— mão-de-obra
— matérias-primas
— equipamento
— energia
— etc.,

não pode usar-se uma medida física para P (output), mesmo se for corrigida, porquanto qualquer que fosse a sua natureza (volume, peso, comprimento, etc.) não podia ser aplicada como *factor comum*

MAGUE

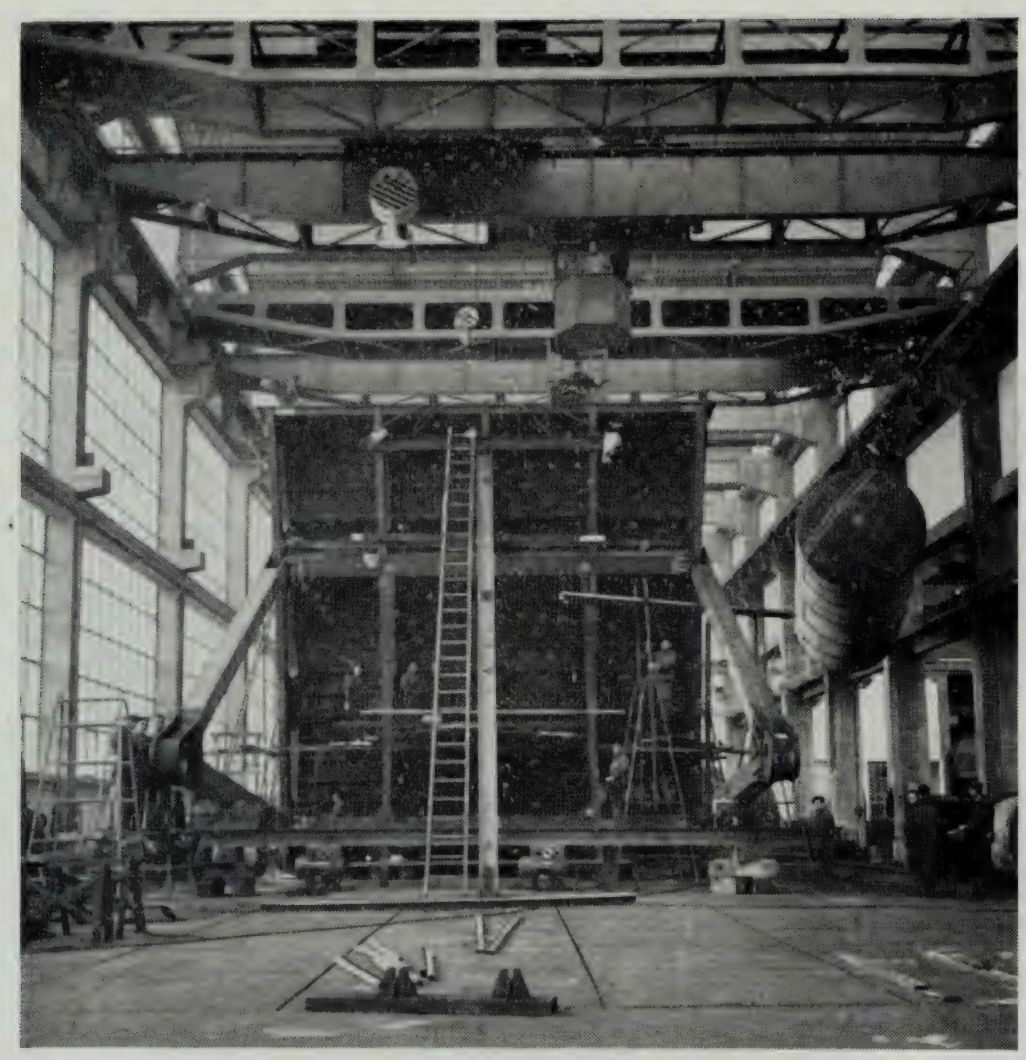
CONSTRUÇÕES METALO-MECÂNICAS MAGUE, L.DA
(S. E. MONIZ DA MAIA & VAZ GUEDES, L.DA)
Alverca — Portugal



Redutor epicicloidal de 2 velocidades, para ponte rolante:

Características { Potência — 51 CV e 80 CV/1000 r. p. m.
Razões de transmissão — 1/3,36 e 1/9,61

PROJECTO E FABRICO DE
PONTES ROLANTES
GUINDASTES
GRUAS. DERRICKS E GUINCHOS
APARELHOS DE ELEVAÇÃO ESPECIAIS
CONSTRUÇÕES METÁLICAS PESADAS



PRÉ-MONTAGEM DE UMA COMPORTA E DE UM RESERVATÓRIO NA OFICINA DE CONSTRUÇÕES METÁLICAS

AÇOS VAZADOS AO CARBONO, MANGANÊS, CRÓMIO E INOXIDÁVEIS
FERROS FUNDIDOS
MECÂNICA MÉDIA E PESADA
CONSTRUÇÕES METÁLICAS

comportas
turbinas
condutas forçadas
permutadores de calor
reservatórios sob pressão

REDUTORES DE VELOCIDADE

DIVISÃO METALO-MECÂNICA

COMPANHIA UNIÃO FABRIL

AV. 24 DE JULHO, 170 — LISBOA 2 — TELEFONE 67 04 21 — TELEGRAMAS: METALOFABRIL

de todos os termos da soma Σf. De facto, o único factor comum entre «output» e todos os factores de «input» é o *seu valor*. Estamos pois em situação de relacionar valores (expressos em unidades monetárias), como já se tinha sugerido acima (parágrafo 3.1).

«Em condições normais de concorrência, ou em condições aproximadas a estas, preços, custos e lucros por unidade de «output», são indicações de Produtividade superiores às que se podem obter das medidas de tipo físico, pois elas deverão reflectir até certo ponto a eficiência da localização e utilização de todos os recursos. Também reflectirão, automàticamente ponderados, todos os factores de «input», avaliados numa unidade convenientemente uniforme, o seu valor monetário» (12).

Regressemos à nossa relação de valores. Usando a terminologia de M. Remery (13), podemos escrever:

$$G = \frac{P}{T + F}$$

em que:

P — produção do período considerado avaliada a *preços standard*.
T — mão-de-obra equivalente avaliada de igual modo (14).
F — soma dos outros factores de «input» (matérias-primas, energia, etc.) avaliadas de igual modo (14).

Esta definição tem primeiro que tudo a vantagem da sua simplicidade formal e também:

a) Pela avaliação da produção em termos de valores monetários, corrigimos, pelo menos teòricamente, as diferenças provenientes das variações de qualidade dum dado produto.
b) Pela avaliação da mão-de-obra em termos monetários, corrigimos as imprecisões que ocorrem quando, somando horas, somamos igualmente os tempos de trabalho dum operário qualificado e dum servente.

As desvantagens deste conceito são:

a) A necessidade de avaliar a produção a preços standard.
As flutuações de valor do dinheiro podem fornecer resultados incorrectos.
b) Não é muito recomendável para comparações de empresas, mesmo se elas se dedicam a produtos similares, a menos que tenham muitos factores em comum. Particularmente a avaliação de factores incluídos em F pode ser muito diferente de Empresa para Empresa, consoante as suas estruturas próprias.

4.2 — *Produtividade e Rentabilidade* — O conceito de Produtividade global não está longe da ideia de lucro e a sua coincidência depende, dos factores incluídos em F, e da justeza, no período considerado, da avaliação *P*.

«É apenas na hipótese bastante restrita em que custos e preços permanecem constantes, que o volume de lucros e a Produtividade global variam paralelamente. Em geral é preferível considerar a Produtividade e a Rentabilidade como características dependentes de domínios distintos» (15).

---

(12) Dr. L. Rostas in «Mesure de la Productivité» — Vol. I. Concepts — AEP Paris 1955 — pág. 39.
(13) In «Revue de la Mesure de la Productivité» n.º 16 — Paris — Fev. 1959.
(14) M. Remery faz esta distinção formal entre T e F com o fim de apreciar as incidências na Produtividade global de variações conjugadas do trabalho e dos outros factores de produção.
(15) H. B. Thorelli in «Revue de la Mesure de la Productivité» n.º 22/23 — Paris — Novembro 1960.

5 — CONCLUSÕES

1 — Produtividade é uma atitude. Esta é talvez a mais recente e a mais largamente aceite ideia de Produtividade, que vem confirmar o seu conteúdo intrìnsecamente dinâmico cujo «campo de acção» se tem vindo a alargar sucessivamente, ambicionando ser uma atitude construtiva em relação a todos os aspectos, técnicos, económicos, sociais e humanos da actividade do Homem.

2 — O reflexo mais imediato da Produtividade — atitude activa — traduz-se na melhoria do nível de vida das populações, sendo agora indissolúvel a ligação entre aumento de produtividade e melhoria de nível de vida.

Acrescente-se que essa melhoria não deve hoje considerar-se dum ponto de vista exclusivamente material, pois a própria intimidade que se estabelece entre o trabalhador (operário ou administrador) e o seu trabalho, tem reflexos psicológicos e até morais, que só agora começam a ser devidamente ponderados, mas que não deixam por isso de ter menor realidade e interesse.

3 — O alargamento do conceito de Produtividade que esboçamos está já longe daquele muito mais restrito de Produtividade do trabalho, que tão grande expansão conheceu.

Quanto ao problema que foi objecto deste artigo, isto é, o de «medir a Produtividade», tal alargamento só o torna de mais difícil solução. Mesmo com significações mais restritas pode afirmar-se não ter sido ainda encontrado um método de fazê-lo de maneira única e uniforme.

4 — Diferentes tipos de medidas tais como os que sumàriamente foram descritos, têm sido usados com resultados válidos, e podem ser extremamente úteis como ferramentas de gestão (oficinal, empresarial, sectorial ou nacional) se forem tomados com o fim de ilustrar uma situação específica e permitir-nos assim descortinar pontos fracos susceptíveis de serem corrigidos com acções apropriadas. É necessário medir apenas o necessário para poder agir.

5 — O conjunto de hipóteses que têm de ser feitas sempre que se inicia a efectivação duma dessas medidas tem de ser profundamente considerado de modo a ser-se conduzido à escolha da melhor medida ou medidas possíveis, tendo em atenção o fim específico que se pretende atingir.

C. D. U. 621.311.21.002.5

Sugestão para um novo tipo de central hidroeléctrica: turbina em caverna e alternador à superfície

FERNANDO VASCO COSTA
Eng. civil (I. S. T.)
LUÍS MOREIRA LOBO
Eng. civil e electrotécnico (U. P.)

1 — Introdução

Está actualmente muito generalizada a construção de centrais hidroeléctricas em caverna. Nos últimos dez anos foram em Portugal construídas quatro centrais hidroeléctricas subterrâneas com a potência total de 460 MW (Salamonde, Caniçada, Picote e Miranda), encontram-se em adiantada fase de construção mais outras quatro com a potência total de 500 MW (Bemposta, Alto-Rabagão, Tabuaço e Cambambe), e prevê-se ainda a construção de várias outras centrais subterrâneas nos próximos anos.

De entre as razões da acentuada preferência pelas centrais em caverna, sobressai o poder aproximar-se a central da tomada de água, e assim reduzir consideràvelmente o comprimento das galerias de pressão. Estas galerias são muito dispendiosas, pois necessitam de ser revestidas, não só para melhoria das condições de escoamento, mas também para redução das infiltrações da água sob pressão. O encurtamento das galerias de pressão apresenta particular interesse no caso de a restituição se fazer a grande distância da tomada de água. Nos aproveitamentos de Salamonde e Caniçada, com circuitos hidráulicos de, respectivamente, 2,1 km e 7,8 km, a adopção do tipo subterrâneo de central permitiu reduzir a 130 m e a 190 m os comprimentos das galerias de pressão.

Apontam-se ainda, como vantagens da instalação de centrais em caverna, a protecção da central contra cheias durante e após a construção (caso das centrais do Douro Internacional), a independência do programa de construção da central em relação ao da barragem e da subestação, e a maior protecção da central em caso de ataque aéreo.

A adopção da central subterrânea pode também ser determinada pela existência de condições topográficas e geológicas desfavoráveis à construção da central ao ar livre (caso de Picote).

Têm contribuído para a adopção de centrais em caverna os progressos da mecânica das formações rochosas, e os progressos da técnica e dos meios de execução de grandes escavações em rocha. Apontam-se, entre estes meios, as cápsulas eléctricas temporizadas, as pás carregadoras de grande capacidade embora de pequenas dimensões, e as ancoragens para estabilização de massas rochosas descomprimidas.

As centrais subterrâneas apresentam, no entanto, alguns incovenientes, devendo referir-se, em primeiro lugar, os inerentes ao transporte para a superfície da energia eléctrica produzida na caverna.

Se os transformadores forem colocados ao ar livre, serão forçosamente elevadas as perdas de energia com o transporte à tensão de produção (8 a 15 kV), mesmo que se utilizem, como é usual, dispendiosos barramentos de cobre (ou alumínio) de forte secção.

Se os transformadores forem instalados também na caverna, perto dos alternadores, então, além do consequente aumento do volume de escavação em subterrâneo, criar-se-ão sérios problemas de isolamento eléctrico, de solução dispendiosa, em virtude do elevado valor das tensões eléctricas (150-220-380 kV) a que será feito o transporte da energia dos transformadores para a superfície.

É de assinalar que em todos os aproveitamentos portugueses com central subterrânea o transporte da energia eléctrica da caverna até ao exterior é feito à tensão de produção, encontrando-se os transformadores instalados ao ar livre.

Como inconvenientes das centrais subterrâneas apontam-se ainda:

— a duplicação de órgãos de comando (na caverna e à superfície);

— o consequente aumento de pessoal de vigilância;
— o grave risco de, no caso de inundação da caverna, a água danificar os alternadores;
— a duplicação do equipamento de elevação e manutenção (pontes rolantes);
— os encargos inerentes à protecção, contra as infiltrações de água e a humidade, de todo o equipamento eléctrico em caverna;
— a necessidade de instalações adequadas à permanência do pessoal de vigilância na central subterrânea.

No presente artigo discute-se a viabilidade de se trazerem para a superfície os alternadores, os quais constituem numa central o equipamento mais delicado e que exige maior vigilância, mantendo-se na caverna apenas as turbinas. O transporte, para a superfície, da energia produzida pelas turbinas na caverna, passaria a ser feito não sob a forma eléctrica mas sob a forma mecânica, por intermédio de veios de grande comprimento.

Tal disposição dos elementos da central permitiria eliminar quase todos os inconvenientes das centrais subterrâneas, sem se perderem as suas principais vantagens.

2 — Veios de grande comprimento

Nas centrais subterrâneas existentes, a transmissão do movimento da turbina ao alternador é feita por meio de um veio maciço de aço, cujas tensões de serviço têm de ser fixadas muito baixas, por motivo da fadiga provocada no veio pelas variações do momento torsor.

Se em vez de veios maciços se adoptarem veios ocos, o aço passará a ser utilizado de forma mais racional, o que permitirá, em igualdade de momento a transmitir e em igualdade de tensões no aço, uma considerável redução do peso do veio por unidade de comprimento (*)

Por outro lado, podendo utilizar-se na construção dos veios ocos aços mais resistentes que o aço forjado com que são fabricados os veios maciços, haverá lugar para nova redução do peso dos veios.

Foram lançados no mercado, nos últimos anos, tubos de aço de alta resistência que podem ser submetidos a tensões de serviço muito mais elevadas que as adoptadas para os aços correntes. Esses tubos, fabricados com diâmetros até 1 m, espessuras de parede até 26 mm, e comprimentos da ordem de 25 m, destinam-se à construção de obras elásticas para a atracação de navios. A utilização dos aços de alta resistência neste tipo de obras apresenta grande interesse, porquanto a energia absorvida na deformação por flexão é proporcional ao quadrado da tensão. Tais tubos poderiam usar-se para transmitir binários maiores que os aplicados pelas turbinas da central de Caniçada.

A montagem e equilibragem de um veio vertical de grande comprimento, destinado a girar a algumas centenas de rotações por minuto, levantará certamente problemas delicados, que se espera possam ser resolvidos pela engenharia mecânica.

A bordo de muitos navios encontram-se montados veios de grande comprimento, que rodam a velocidades da ordem de grandeza das adoptadas nas turbinas hidráulicas. Os problemas de equilibragem desses veios — sujeitos, além da torsão, também à flexão, visto serem horizontais — encontram-se completamente resolvidos, nomeadamente os criados pelas dilatações térmicas do veio e deformações do casco.

A questão do maior peso de um veio muito longo (apesar de oco) em relação ao veio curto e maciço, não deve constituir problema de maior, pois as poucas dezenas de toneladas correspondentes à diferença de pesos pouco representarão em face das centenas de toneladas que a chumaceira de impulso tem normalmente de suportar, devido ao peso das diversas peças girantes e à componente axial do impulso hidráulico sobre a roda da turbina.

3 — Tensões, deformações e pesos dos veios

No quadro junto reunem-se alguns valores que permitem comparar um veio maciço com diversos veios ocos, na hipótese de um binário de 100 t.m (caso das turbinas Francis da central de Caniçada).

(*) No artigo «Welded Tubular Shafts for Vertical Water Turbines», publicado na revista «Water Power» de Maio de 1961, Gunnar Englesson descreve os veios ocos de aço laminado previstos para grupos turbo-alternadores de 224 MW cada, destinados a equipar a central de Bratsk, Rússia. Um dos vinte grupos entrou em serviço em 1961.

À solução clássica corresponde um veio maciço de 530 mm de diâmetro. A tensão máxima no aço,

$$\sigma = \frac{MD}{2I},$$

em que:

M = binário a transmitir = 10^7 kg.cm
D = diâmetro do veio = 53,0 cm
$I = \frac{\pi D^4}{32}$ (momento de inércia polar) = $= 773 \times 10^3$ cm^4 tem o valor

$$\sigma = 342 \text{ kg/cm}^2.$$

O ângulo de que roda uma secção normal ao veio relativamente a outra secção que lhe seja paralela e dela diste l, é

$$\theta = \frac{Ml}{GI}$$

em que o G é o módulo de elasticidade transversal (cerca de 8×10^5 kg/cm^2 no caso do aço).

Para l = 1 m obtém-se

$$\theta = 5{,}5'.$$

O peso de 1 metro de veio maciço com 530 mm de diâmetro é de 1720 kg.

O emprego de veios ocos, em que o aço é muito melhor aproveitado e pode ser submetido a tensões de serviço mais elevadas que nos veios maciços, permite importante redução no peso do veio, conforme se verifica pelo quadro. Nele se consideram veios ocos com diâmetros exteriores variando entre 750 mm e 1100 mm. Como era de esperar, para tensões máximas no aço da mesma ordem de grandeza, o peso do veio oco decresce com o aumento do diâmetro, visto poder reduzir-se a espessura da parede do veio. Esta redução é porém condicionada, além de outros factores, pela estabilidade elástica da parede do veio.

A rotação relativa de duas secções normais do veio distantes entre si de 1 m é da mesma ordem de grandeza da que se verifica no veio maciço. Se o veio oco tiver um comprimento de 100 m, as suas secções extremas rodarão entre si de cerca de 8°, não se afigurando que daí resultem dificuldades de regulação da turbina e de estabilidade do gerador que não possam ser dominadas pela técnica actual.

O emprego de aços de alta resistência permitirá reduzir ainda mais o peso dos veios ocos, embora implique um aumento da deformação por torsão.

4 — Transporte da energia da caverna para a superfície

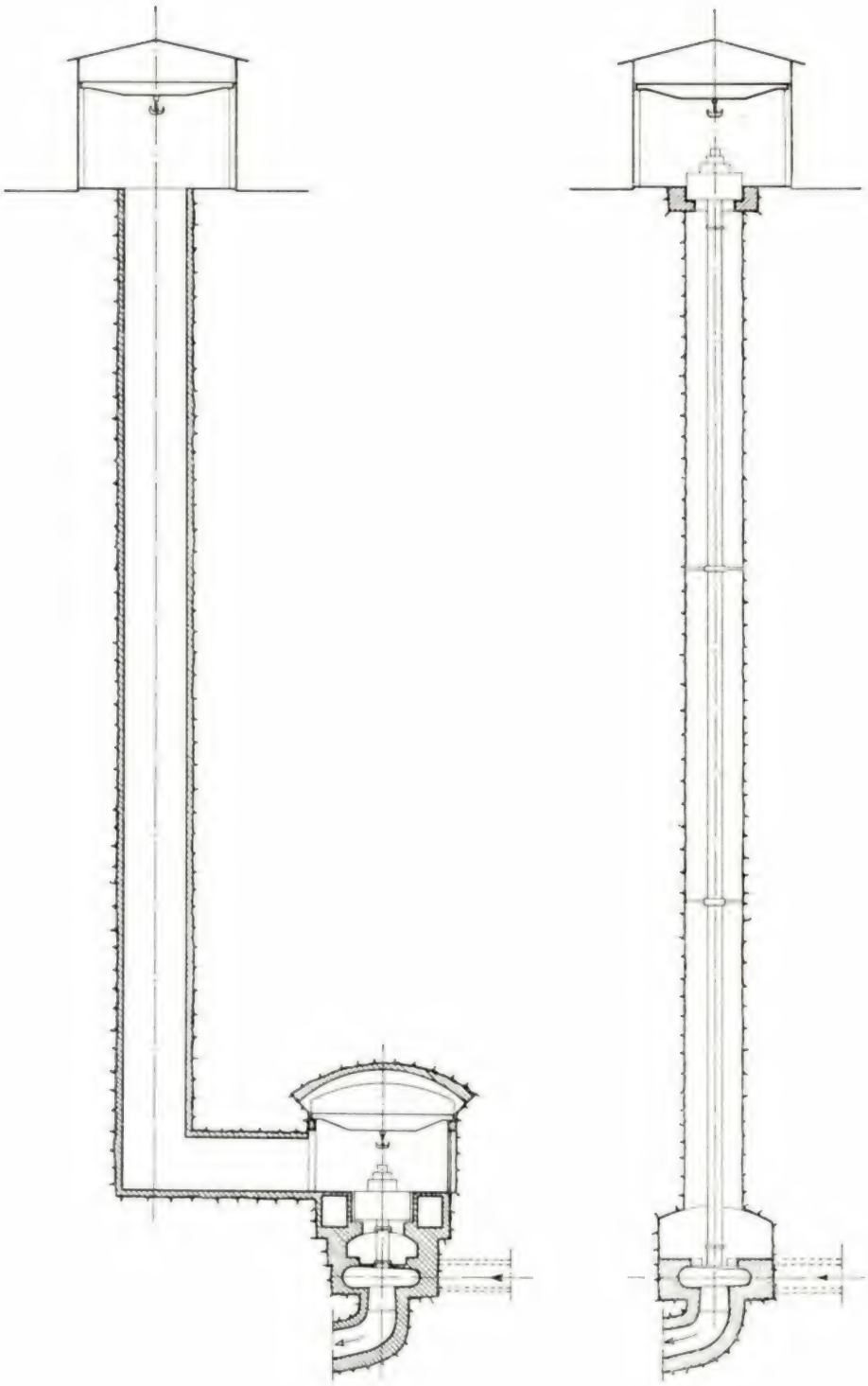
A utilização de barras de cobre (ou de alumínio) para transportar para a superfície a energia eléctrica gerada na caverna levanta problemas de isolamento, por vezes delicados. Com efeito, nos períodos de paragem dos grupos, deposita-se sempre humidade sobre os isoladores das barras.

Por outro lado, a perda anual de energia por aquecimento das barras pode ser importante.

No caso da central de Caniçada, em que a energia produzida nos dois alternadores de 32 000 kVA é transportada para a superfície por barras de cobre com a secção de 8 mm × 100 mm e o comprimento de 130 m, a perda anual de energia por efeito Joule, na hipótese de 3000 horas de trabalho por ano a plena carga, é da ordem de 200 000 kWh.

No caso de o alternador ser instalado à super-

Tipo de veio	Diâmetro (mm)	Espessura da parede (mm)	I (10^3 cm^4)	σ (kg/cm^2)	θ (min.sex./m)	Peso (t/m)
Maciço	530	—	773	342	5,5	1,72
Oco	750/710	20	611	613	6,9	0,358
»	900/870	15	816	551	5,2	0,325
»	1000/975	12,5	944	529	4,4	0,303
»	1100/1080	10	1016	541	4,1	0,267



fície, as perdas de energia (resultantes essencialmente de atritos) seriam insignificantes, dispensando-se o barramento de cobre, os isoladores, e outros dispositivos necessários ao transporte da energia eléctrica da caverna para o exterior.

Em contrapartida há a considerar, em desfavor da solução de veio comprido, o maior custo do veio e dos órgãos necessários à sua montagem e equilibragem, bem como a necessidade de tantos poços quantos os grupos da central.

A necessidade de um poço para cada veio não deve constituir inconveniente grave, dado que

hoje se utilizam meios e técnicas de trabalho que permitem a abertura rápida e económica de poços com o diâmetro necessário à instalação do veio.

5 — Economia nas instalações

A localização do alternador à superfície permite reduzir consideràvelmente, em relação à solução usual, não só o volume de escavação da caverna, mas também o volume de betão em revestimentos (ver figura).

Como na caverna apenas ficam instaladas turbinas, válvulas, comportas e condutas, as quais requerem muito menor vigilância que os alternadores, poder-se-á reduzir o pessoal de serviço na caverna. Esta circunstância permitirá não só uma economia de salários, mas também uma considerável redução nas despesas de primeiro estabelecimento com acabamentos de construção civil e com as instalações para pessoal.

A montagem das turbinas poderá fazer-se com uma única ponte rolante, instalada à superfície. A ponte rolante da caverna, bem como os respectivos caminhos de rolamento, seriam substituídos por meios provisórios a instalar apenas em caso de necessidade de desmontagem das turbinas.

6 — Considerações finais

Apesar das aparentes vantagens das centrais com a turbina em caverna e o alternador à superfície, o que fica exposto não é suficiente para se ajuizar em definitivo da viabilidade de tal disposição.

Por isso se pede aos colegas mais conhecedores do assunto que se pronunciem sobre os inconvenientes da sugestão aqui apresentada.

7 — Agradecimentos

Por valiosos comentários à sugestão exposta neste artigo apresentamos os nossos agradecimentos aos eng. Joaquim Santana Sabino Domingues, eng. Pedro Arsénio Nunes, eng. Eduardo Abranches de Magalhães, eng. José Ruela, e ao sr. Osvaldo Francês.

C. D. U. 621.311.5/99

Elementos sobre a produção e o consumo de energia na rede eléctrica nacional

— Elementos extraídos das estatísticas mensais do Repartidor Nacional de Cargas (R. N. C.)

NOTA: *As produções e os consumos das empresas do R. N. C. representam cerca de 94 °/₀ dos totais do País.*

I — Breve nota mensal

Sob o ponto de vista hidrológico, o mês de Dezembro apresentou-se, no conjunto, muito acima da média.

II — Elementos gerais (GWh)

a) Mensais

	1960	1961	Variação °/₀
Produção hidráulica (P_h) . . .	302,8	319,2	+ 5
Produção térmica (P_t)	0,0	0,0	0
Produção total (P_T)	302,8	319,2	+ 5
Exportações (Ex)	—	8,0	—
Importações (I)	—	7,9	—
Produção para consumos não perman. (P_{cnp}) . .	64,7	57,4	— 11
Produção para consumos permanentes (P_{cp}) (1)	238,1	261,7	+ 9,9 (2)

b) Acumulados desde 1 de Janeiro (GWh)

	1960	1961	Variação °/₀
Produção hidráulica (P_h) . . .	3006,9	3337,7	+ 11
Produção térmica (P_t)	43,3	59,6	+ 38
Produção total (P_T)	3050,2	3397,3	+ 11
Exportações (Ex)	—	10,4	—
Importações (I)	—	10,2	—
Produção para consumo não perman. (P_{cnp}) . .	663,4	717,1	+ 8
Produção para consumos permanentes (P_{cp}) (1)	2386,8	2680,0	12,3 (2)

NOTAS:

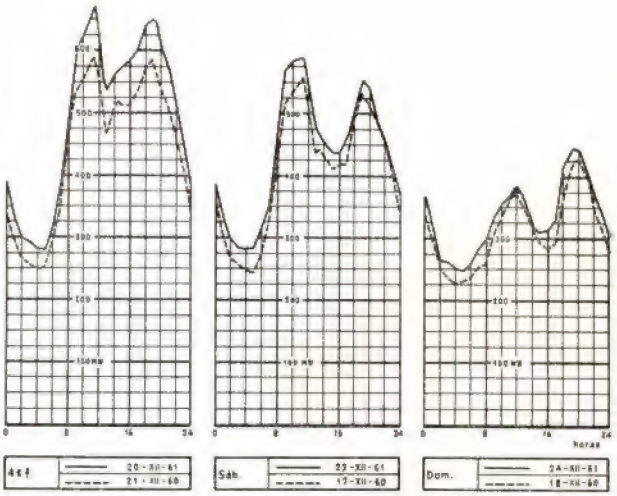
(1) A produção para consumos permanentes (P_{CP}) é determinada pela seguinte expressão: $P_{CP} = P_T - P_{cnp} + 1 - E_X$

(2) O aumento percentual de produção para consumos permanentes, tendo em conta a incidência dos domingos e dias especiais, é respectivamente de 13,9 e 13,1 °/₀.

III — Diagramas de carga dos dias característicos

	4.ª feira: 21-12-960	4.ª feira: 20-12-961
Produção hidráulica (P_h) — MWh	10825	12101
Produção térmica (P_t) — MWh . .	0	0
Produção total (P_T) — MWh . . .	10825	12101
Trocas com a Espanha — Exportações MWh .	—	333
Trocas com a Espanha — Importações MWh .	—	823
Produção para consumos não permanentes — MWh.	2027	1824
Potência máxima MW	590,0	670
Potência mínima MW	248,5	279,0
Utilização da ponta (U) — horas	18,3	18,1
Factor de carga (α)	0,76	0,75
Relação $\frac{\text{Pot. mín.}}{\text{Pot. máx.}}$ (r)	0,42	0,42

DEZEMBRO



IV — Energia armazenada nas principais albufeiras

Albufeiras:	No fim do mês: GWh	No fim do mês: °/₀ (1)
Paradela	222,5	100,0
Venda Nova	84,6	66,1
Salamonde	22,6	81,9
Caniçada	26,4	79,8
Cabril	308,9	91,0
Castelo do Bode	159,9	96,3
Guilhofrei	8,3	100,0
Lagoa Comprida	32,8 (2)	100,0
Santa Luzia	55,5	90,1
Pracana	12,9	10,0
Póvoa	6,3 (3)	48,1
Total . . .	937,7	89,9

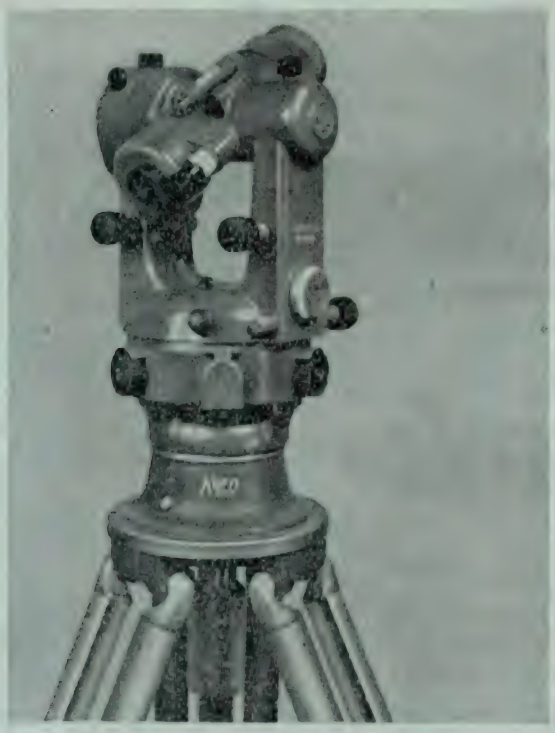
Notas:

(1) Coeficiente de enchimento em energia das albufeiras.

(2) Inclui 3,4 GWh armazenados em Vale do Rossim no fim do mês.

(3) Inclui 1,3 GWh armazenados no açude do Poio no fim do mês.

A TÉCNICA MAIS MODERNA
Tudor
PORTUGAL
A MARCA DE MAIOR DURAÇÃO
PILHAS SECAS
MÁXIMA DURAÇÃO
SEMPRE LUZ CLARA
Tudor
PORTUGAL
GRANDE CAPACIDADE
LONGA ARMAZENAGEM
TIPO
FABRICAÇÃO SEMPRE RECENTE



DK_RV

Um novo taqueómetro auto-reductor para mira vertical de maior precisão

Grande precisão: êrro médio de ± 3-5 cm/100 m.
Fácil leitura da mira: nenhuma curva, sómente dois traços direitos de medição e leitura.
Leitura do circulo: exactidão de minuto sem micrómetro ou exactidão do segundo com micrómetro.
Outras caracteristicas: tripé de centragem, movimento do circulo com fixação expedita, iluminação electrica regulável.

O DK-RV é usado com vantagem sempre que com o emprego da mira vertical se pretende a precisão até hoje não atingida.

Kern & Co. S.A. Aarau Suiça

Representantes para Portugal:
E. de Azevedo Campos & Cia., Lda.
Rua Santo António, 137, Porto
Rua Antero de Quental, 17, Lisboa

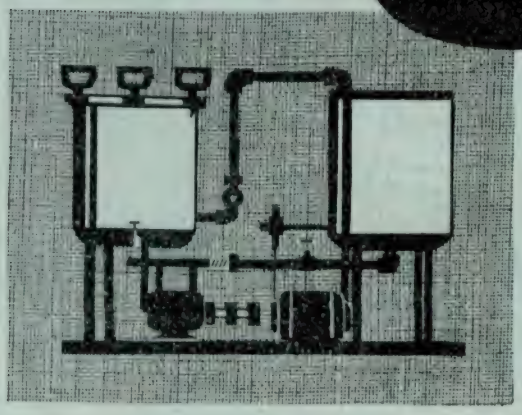
Kern SWISS

filtros FILFRO, L.da

ALGUMAS DAS PRINCIPAIS APLICAÇÕES:

Água • Açúcar • Óleos vegetais, animais e minerais • Cerveja
Sabão líquido • Resinas naturais e sintéticas • Vinhos • Vinagre
Glicerina • Tintas • Vernizes
Sumos de frutos • Xaropes
Azeite • Industria química

FILTROS NACIONAIS PARA TODOS OS PROBLEMAS DE FILTRAÇÃO



Inteiramente fabricados em Portugal, por técnicos e operários portugueses, segundo a patente port. n.º 29.917

Dezenas de instalações a funcionar no país atestam a sua excelente qualidade.

RUA CAPITÃO FILIPE DE SOUSA, 128
CALDAS DA RAINHA

FILTROS FILFRO, L.da PORTUGAL

C. D. U. 621.1.018

RENDIMENTO E GRAU DE EXPANSÃO

PELO ENG. MEC. I. S. T. FRANCISCO DE ALMEIDA E CASTRO
Regente da cadeira de Máquinas Alternativas

No estudo teórico dos ciclos ideais das máquinas alternativas de combustão interna é corrente apresentar-se o rendimento desses ciclos como dependendo em 1.ª mão do respectivo «grau de compressão».

Assim, conforme o modo de recepção do calor da fonte quente por parte do fluido motor, tem-se nos dois casos extremos:

1.º) Volume constante (fig. 1):

$$\mu_v = 1 - \frac{1}{C^{k-1}}$$

2.º) Pressão constante (fig. 2):

$$\mu_p = 1 - \frac{1}{C^{k-1}} \frac{\rho^k - 1}{k(\rho - 1)}$$

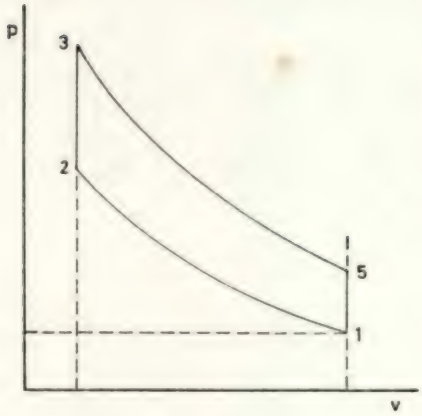


Fig. 1

em que $C = \frac{V_1}{V_2}$ é o grau de compressão, $k = \frac{C_p}{C_v}$ e $\rho = \frac{V_4}{V_2}$ é a relação de aumento de volume durante o contacto com a fonte quente.

Esta maneira clássica de apresentar a questão suscita no entanto fortes reservas do ponto de vista didáctico, pois é difícil de conceber a priori que máquinas destinadas a produzir trabalho pela expansão de um fluido tenham o seu rendimento subordinado à intensidade da compressão, que nelas é uma função auxiliar absorvedora de trabalho.

Nestas circunstâncias quem aborde o problema para fins de ensino não poderá deixar de, ao apresentar a expressão do rendimento do ciclo de pressão constante, acentuar desde logo que o factor realmente importante não é o grau de compressão C mas sim o grau de expansão E, o qual é necessàriamente função directa do primeiro. A preferência dada a C deriva apenas de este ser uma característica geométrica da máquina, enquanto que o E (salvo no ciclo de volume constante em que E = C) apresenta dificuldades de definição rigorosa que tornam geralmente preferível a sua apresentação por via verbal.

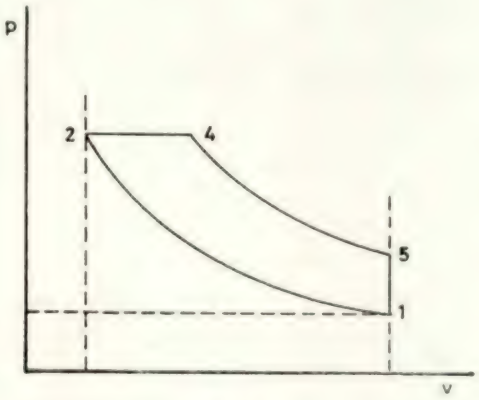


Fig. 2

Define-se assim E como a relação entre o volume final de expansão e o volume *médio* tomado pelo fluido motor durante o contacto com a fonte quente. Esta definição carece do necessário cartesianismo para poder ser absorvida com clareza por quem penetre pela primeira vez no estudo dos motores de êmbolo, pelo que parece útil tentar esclarecê-la. Ver-se-á como é possível fazê-lo por 3 vias distintas, embora convergentes.

I

Tomemos de novo o ciclo de pressão constante representado na fig. 2.

Suponha-se que era possível conhecer o grau de expansão E acima definido por forma assaz nebulosa. Se isso acontecesse, então o rendimento desse ciclo seria dado simplesmente por:

$$\mu = 1 - \frac{1}{E^{k-1}}$$

Logo:

$$\frac{1}{E^{k-1}} = \frac{1}{C^{k-1}} \frac{\rho^k - 1}{k(\rho - 1)}$$

ou

$$E^{k-1} = \frac{k(\rho - 1)\, C^{k-1}}{\rho^k - 1}$$

donde ainda, substituindo ρ e C pelas respectivas definições:

$$E^{k-1} = \frac{k\left(\frac{V_4}{V_2} - 1\right)\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1}}{\left(\frac{V_4}{V_2}\right)^k - 1} =$$

$$\frac{k\left(\frac{V_4 - V_2}{V_2}\right)\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1}}{\frac{V_4^k - V_2^k}{V_2^k}} = \frac{k\, V_1^{k-1}(V_4 - V_2)}{V_4^k - V_2^k}$$

Ora, pela definição atrás dada para *E* pode-se escrever

$$E = \frac{V_1}{V_m}$$

e portanto será dado por:

$$V_1^{k-m} = \frac{V_4^k - V_2^k}{k(V_4 - V_2)}$$

o volume médio já referido.

II

Outra maneira de chegar ao mesmo resultado, talvez formalmente mais correcta, consistiria em conceber o ciclo de pressão constante como uma sobreposição de ciclos elementares a volume constante (fig. 3). Nestas condições é evidente que o rendimento de cada ciclo elementar será dado por

$$\eta_\delta = 1 - \frac{1}{C_\delta^{k-1}}$$

sendo C_δ o grau de compressão (e de expansão) respectivo, ou seja $C_\delta = \frac{V_1}{v}$ em que v representa o «volume de compressão» correspondente ao ciclo elementar considerado. Ter-se-ão assim

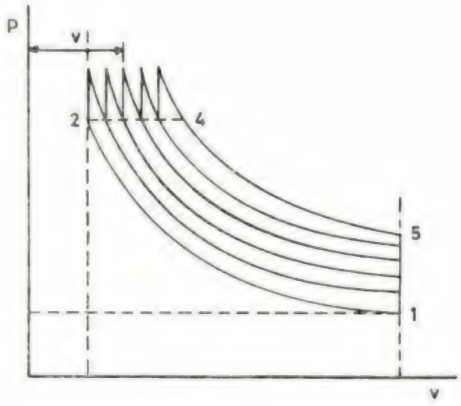


Fig. 3

tantos η_δ quantos os ciclos elementares em que dividimos o ciclo total. O rendimento global será a média ponderada destes rendimentos e, se a área de cada ciclo elementar tender para zero, será então:

$$\eta = \frac{1}{V_4 - V_2} \int_{V2}^{V4} \eta_\delta \,.\, dv = 1 -$$

$$- \frac{1}{(V_4 - V_2)\, V_1^{k-1}} \int_{V2}^{V4} v^{k-1} \,.\, dv =$$

$$= 1 - \frac{V_1^k - V_2^k}{k\, V_1^{k-1}(V_4 - V_2)} = 1 - \frac{1}{E^{k-1}}$$

sendo

$$E = \frac{V_4}{V_m} \quad \text{e} \quad V_m^{k-1} = \frac{V_4^k - V_2^k}{k\,(V_4 - V_2)}$$

exactamente o mesmo que fora obtido antes.

III

Recorrendo à definição fundamental de rendimento, temos:

$$\eta = \frac{Q_I - Q_{II}}{Q_I} = \frac{A\,\tau}{Q_I} = \frac{A\,\tau}{Q_{II} + A\,\tau}$$

Então, dado um determinado ciclo, se for possível imaginar outro cujo diagrama tenha a mesma área ($A\,\tau$) e que regeita o mesmo quantitativo de calor para fonte fria (Q_{II}), este terá o mesmo rendimento daquele.

Seja portanto (fig. 4) dado um ciclo de pressão constante (1, 2, 4, 5) e procurem-se as características de outro a volume constante que obe-

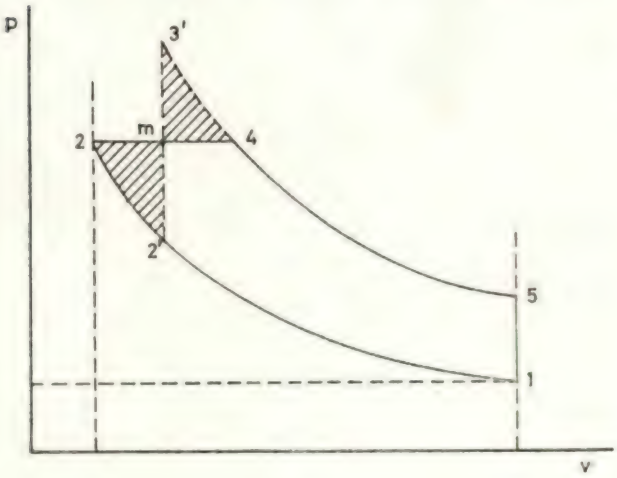


Fig. 4

deça às condições agora enunciadas. Uma condição — identidade de Q_{II} — obriga à coincidência dos pontos 1 e 5; a outra condição — identidade de $A\,\tau$ — obriga as áreas [2 m 2'] e [4 m 3'] a serem iguais, isto é:

$$p_2\,(V_m - V_2) - \int_2^{2'} p\,dv = \int_{3'}^{4} p\,dv - p_2\,(V_4 - V_m)$$

donde:

$$\int_{3'}^{4} p\,dv + \int_2^{2'} p\,dv = p_2\,(V_4 - V_2)$$

ou, atendendo a que por definição

$$p\,v^k = p_2\,V_2^k = p_2\,V_4^k$$

$$p_2\,V_2^k \int_2^{2'} \frac{dv}{v^k} + p_2\,V_3^k \int_{3'}^{4} \frac{dv}{v^k} = p_2\,(V_4 - V_2)$$

donde finalmente sairia, mais uma vez:

$$V_m^{k-1} = \frac{V_4^k - V_2^k}{k\,(V_4 - V_2)}$$

Esta análise permite-nos atribuir um claro significado físico ao «grau de expansão». Com efeito, este será o *grau de compressão a dar a uma máquina de igual cilindrada que trabalhando no ciclo de volume constante produzisse o mesmo trabalho que o ciclo dado e com igual rendimento.*

Conclusão

Em resumo, parece preferível sob o ponto de vista didático apresentar os rendimentos térmicos dos ciclos teóricos de funcionamento dos motores alternativos, como funções do grau de expansão E,

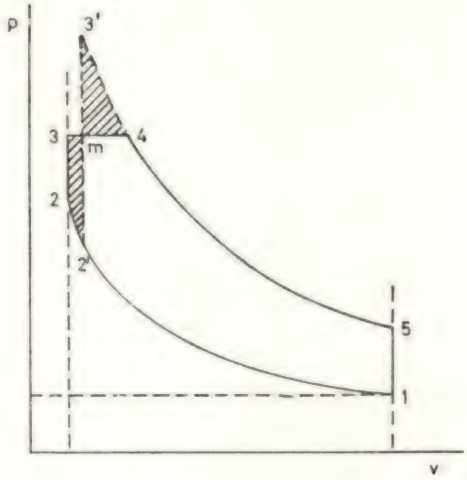


Fig. 5

tanto mais que este é susceptível de uma definição bastante concreta. Assim, em todos os casos o rendimento será dado pela expressão geral

$$\eta = 1 - \frac{1}{E^{k-1}}$$

sendo, então, para o ciclo misto (fig. 5)

$$E^{k-1} = \frac{V_1^{k-1}\left[k\,(V_1 - V_2) + \left(1 - \frac{p_2}{p_1}\right) V_2\right]}{V_1^k - \frac{p_2}{p_1}\,V_2^k}$$

expressão esta imediatamente adaptável aos 2 casos extremos clássicos — pressão constante ou volume constante.

No 1.º caso, fazendo $p_1 = p_2$, resulta a expressão anteriormente deduzida por outras vias:

$$E^{k-1} = \frac{k\,V_1^{k-1}\,(V_1 - V_2)}{V_1^k - V_1^k}$$

No 2.º caso, fazendo $V_1 - V_2$, fica:

$$E = \frac{V_1}{V_2} = C$$

expressão esta, como se sabe, condição de máximo rendimento relativamente a valores fixos de V_1 e V_2.

CENTRO DE PROJECTOS

COLOCA A SUA EXPERIÊNCIA AO SERVIÇO DA INDÚSTRIA NACIONAL

FÁBRICA EM REMODELAÇÃO

MAQUETE DA FÁBRICA REMODELADA

NA REMODELAÇÃO DE INSTALAÇÕES

O CENTRO DE PROJECTOS CUF ESTÁ EM POSIÇÃO DE TOMAR A SEU CARGO

O ESTUDO ECONÓMICO DE INSTALAÇÕES EXISTENTES

PROPÔR AS REMODELAÇÕES NECESSÁRIAS AO AUMENTO DA RENTABILIDADE

PROJECTAR ESSAS REMODELAÇÕES, QUER FORNECENDO O PROJECTO, QUER ENCARREGANDO-SE DA AQUISIÇÃO DO MATERIAL E DA EXECUÇÃO DA RESPECTIVA MONTAGEM

O CONJUNTO DE TÉCNICOS DE QUE DISPÕE, O APOIO DA LONGA EXPERIÊNCIA INDUSTRIAL DA COMPANHIA UNIÃO FABRIL NOS VÁRIOS RAMOS DA INDÚSTRIA E AINDA A COLABORAÇÃO COM FIRMAS ESTRANGEIRAS GARANTEM A QUALIDADE DAS REALIZAÇÕES QUE LHE FOREM ENTREGUES

EXPONHA OS SEUS PROBLEMAS E DIRIJA AS SUAS CONSULTAS A **CENTRO DE PROJECTOS CUF** AV. 24 DE JULHO, 170 TELEF. 67 20 61 LISBOA - PORTUGAL TELEG. PROFABRIL

CP-2

FANAFEL

FÁBRICA NACIONAL DE FELTROS INDUSTRIAIS

SOCIEDADE LIMITADA

APART.: 9
TELEF.: 93
TELEG.: FELTROS

OVAR
PORTUGAL

ESCRITÓRIO E FÁBRICA
ESTRADA DE S. JOÃO

FELTROS, FILTROS E TECIDOS INDUSTRIAIS PARA TODOS OS FINS:

EM PEÇAS, PANOS, MANGAS OU SACOS,
DE QUALQUER FIBRA

PASTA PARA PAPEL
PAPEL
FIBROCIMENTO
CURTUMES
FIAÇÕES DE ALGODÃO
LINHAS
INDÚSTRIAS QUÍMICAS

TECELAGENS
ACABAMENTOS
TINTURARIAS
LAVANDARIAS
ESTAMPARIAS
FILTROS
DESPOEIRAGEM

FLUIDO E MASTIC

IMPERMEABILIZAÇÕES

TORNA TUDO ESTANQUE

Impermeabilização e vedação perfeita de:

Terraços, Empenas, Algerozes, Clarabóias, Paredes húmidas, Coberturas, Fendas, Juntas de dilatação, etc., etc.

Fácil aplicação — Elasticidade excepcional
Não endurece nem apodrece

ROOFATEX **À base de borracha + alumínio**

Reforça a acção impermeabilizante do «Rubio», dando às construções um aspecto agradável — Protege todos os materiais contra a humidade, a ferrugem e a corrosão

RUBIO E ROOFATEX dois produtos que se completam

Representante Exclusivo: *Orlando Fernandes*

Rua Palmira, 46-A-B-C — LISBOA-1 — Telefs. 83 01 63 - 84 26 39 — End. teleg. «ORFER»

C. D. U. 532.593.4

ONDAS NA REBENTAÇÃO (*)

POR DANIEL VERA-CRUZ

Engenheiro Assistente do Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Membro do Agrupamento Científico da Junta das Missões Geográficas e de Investigações do Ultramar

I — INTRODUÇÃO

O presente trabalho nasceu da necessidade de analisar mais profundamente os resultados da exploração de um modelo de agitação estudado no Laboratório Nacional de Engenharia Civil. O modelo em questão é o do porto da Póvoa do Varzim. Impõe-se portanto apresentar resumidamente aqueles resultados do ensaio cuja análise mais detalhada foi julgada de interesse.

No modelo de agitação do porto da Póvoa do Varzim (Fig. 1) procurava-se averiguar da melhoria das condições de agitação no interior do porto resultantes de obras exteriores a executar.

Houve portanto que iniciar os estudos em modelo pela determinação das condições de agitação em diferentes zonas do porto no seu estado actual (Fig. 1). Uma das zonas consideradas foi, naturalmente, a entrada do porto, onde se consideraram três pontos de medida (A, B, C da fig. 1). A agitação à entrada era medida pela média das alturas nos três pontos considerados. Verificou-se que, devido à influência de vários factores — configuração dos fundos, reflexões no interior do porto e rebentação das ondas, entre outros — a altura no mesmo ponto para a mesma onda vinda do largo era variável com o tempo. Para efeitos comparativos de diferentes soluções a ensaiar, resolveu-se adoptar o critério de escolher em cada ponto a máxima altura da onda ali registada. Sendo assim, o índice de agitação à entrada do porto era dado pela média das alturas máximas registadas nos pontos A, B e C.

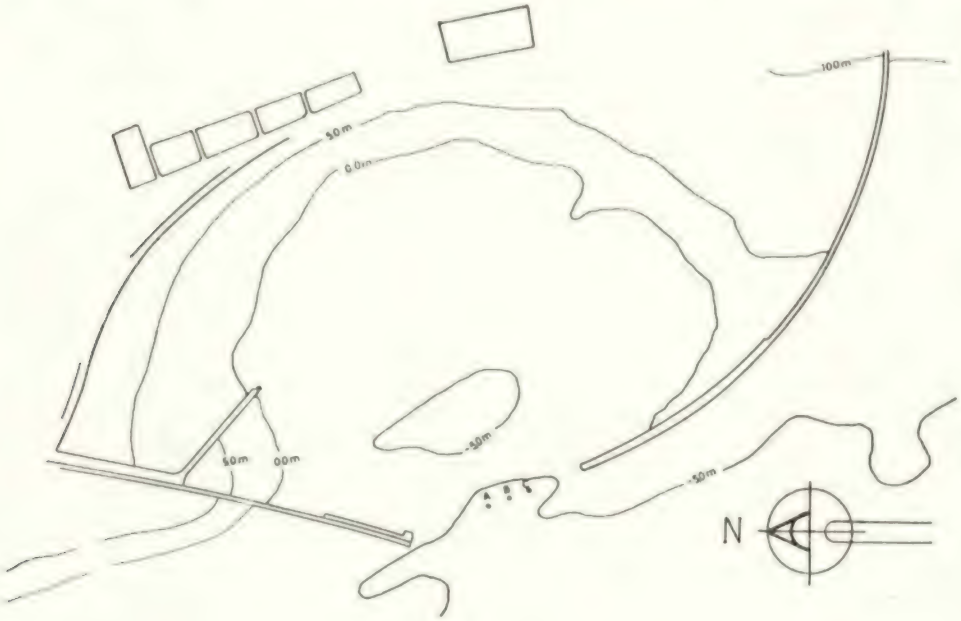


Fig. 1

Os ensaios fizeram-se para uma mesma direcção de propagação das ondas, para diferentes períodos (T = 8, 10, 11, 12, 14 e 16 s) e para

(*) Trabalho realizado no Agrupamento Científico da Junta das Missões Geográficas de Investigação do Ultramar.

diferentes alturas de ondas ao largo associadas a cada um dos períodos. As alturas ao largo — medidas sensìvelmente sobre a batimétrica dos (-15,0 m)—variavam em média, para cada período, de 1,0 a 9,0 m.

Os ensaios decorreram sempre com nível de água constante (+ 3,9 m) a que corresponde uma profundidade da ordem de 9 metros à entrada do porto. A escala do modelo era de $^1/150$.

dos. A fig. 3 representa uma curva média interessando o conjunto dos períodos. Nos gráficos dessas figuras representam-se em ordenadas as alturas médias à entrada do porto e em abcissas as alturas das ondas ao largo.

Da observação das Figs. 2 e 3 ressalta que para ondas ao largo de altura inferior a 4 m, a altura à entrada é proporcional à altura ao largo, e que para alturas superiores a 4 m a agitação é

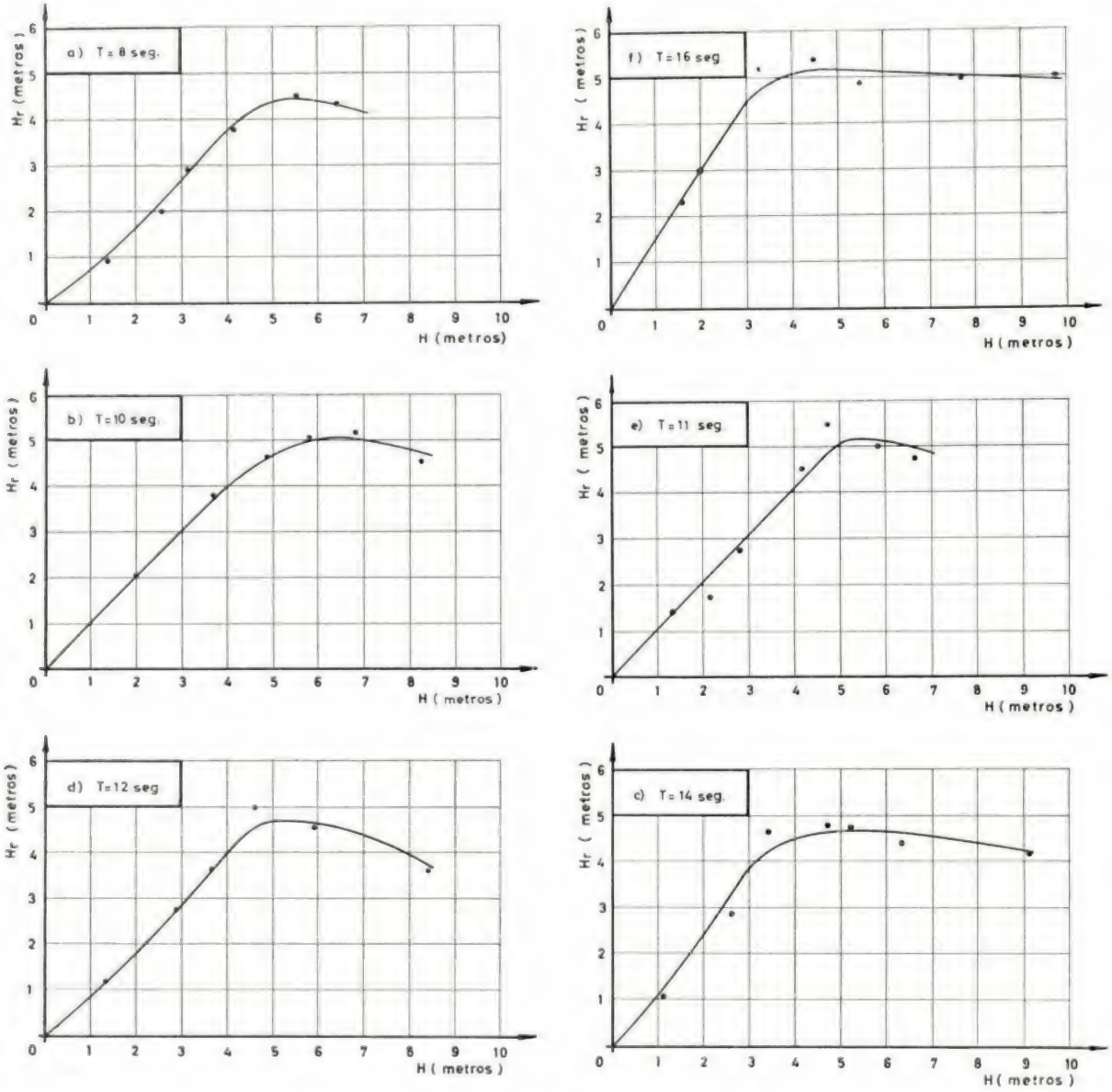


Fig. 2

Verificou-se que uma onda com cerca de 4 m ao largo já rebentava antes de alcançar a entrada do porto.

As figs. 2 (a-b-c-d-e-f) condensam os resultados obtidos com cada um dos períodos ensaia-

pràticamente constante ou pouco variável com a altura da onda ao largo. Recorde-se que a altura de 4 metros é sensìvelmente a altura de onda ao largo que começa a rebentar antes da entrada do porto.

Note-se que a Fig. 3 parece indicar a ausência de uma influência marcada do período dentro da gama ensaiada (8 a 16 s).

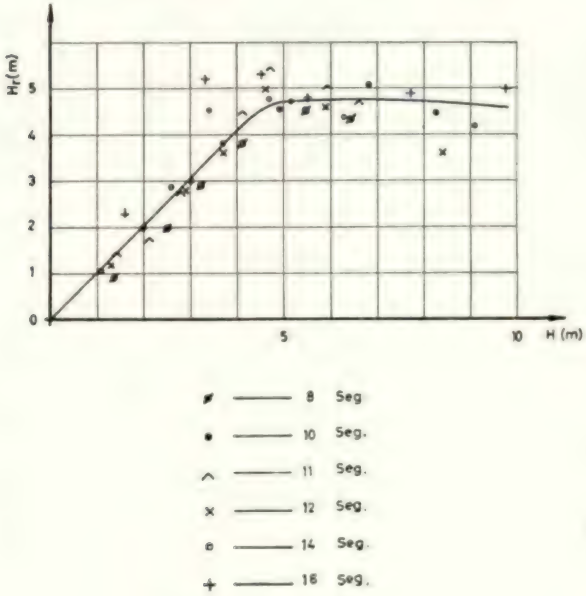


Fig. 3

Estes resultados foram interpretados atribuindo uma função de filtro à profundidade de água de tal forma que sempre que a altura das ondas seja tal que as mesmas rebentem antes de atingirem um dado ponto, a agitação máxima registada nesse ponto será pràticamente independente da altura da onda incidente e do seu período, variando fundamentalmente com a profundidade no ponto considerado. A fim de confirmar ou corrigir essa interpretação resultante de medições realizadas num modelo de características bastante genéricas, resolveu-se levar a cabo ensaios em canal de vagas onde mais fàcilmente se poderia observar a influência dos principais parâmetros interessando o fenómeno.

Os ensaios em canal são apresentados e descritos nos capítulos seguintes.

II — ENSAIOS EM CANAL

II-1 — *Descrição do equipamento*

As experiências foram realizadas num canal de ondas existente na Secção de Hidráulica Marítima do Laboratório Nacional de Engenharia Civil em Lisboa. Este canal é construido em betão com 37,5 m de comprimento total.

A zona ocupada pelo gerador de vagas ocupa um comprimento de 6 m, com uma altura de 1,7 m e uma largura de 1 m. A esse troço do canal, situado numa das suas extremidades, segue-se uma zona de transição longitudinal e em planta, com cerca de 4,5 m de comprimento. Finalmente chega-se à secção normal de troço de ensaios do canal: 0,6 m de largura, 1,3 m de altura e um comprimento de 27,5 m. Destes 27,5 m cerca de 5 m são normalmente destinados a criar no extremo do canal oposto ao gerador de vagas uma praia amortecedora, que foi utilizada nos ensaios que se vão descrever. O gerador de vagas é constituído por um batedor plano accionado por um grupo moto-variador. O batedor pode sofrer translação pura, rotação pura em torno de um eixo horizontal ao nível da laje de fundo do canal ou um movimento resultante desses dois movimentos puros.

Nos ensaios utilizou-se batedor em simples translação. O período das ondas é obtido por actuação no variador acopulado ao motor do gerador. A altura da onda é regulada por actuação sobre a excentricidade do braço que acciona o batedor.

O canal apresenta painéis de vidro numa extensão de cerca de 5,5 m, o que facilita a observação dos fenómenos. Uma característica importante do canal é a existência de uma conduta de equilibragem de ø 0,3 m, que estabelece franca ligação entre os extremos do canal. Como se verá, esta conduta foi de grande significado nos ensaios que se vão apresentar.

II-2 — *Propósito dos ensaios*

Com os ensaios em canal procurava-se essencialmente provocar a rebentação de ondas de diferentes alturas e períodos sobre uma praia de inclinação conhecida e medir a altura máxima da onda reformada num ponto suficientemente afastado da zona de rebentação. O critério de escolha de altura máxima resultou da irregularidade da onda reformada, o que tornava muito difícil e demorada a determinação da altura média ou qualquer outro parâmetro definidor das ondas.

A fim de atenuar a dificuldade que representaria dispor de uma praia suficientemente extensa a fim de haver espaço bastante para permitir a reformação da onda, usou-se o artifício seguinte:

A praia era interrompida a um nível conve-

niente por forma a que, para os diferentes níveis de água ensaiados, ela era francamente galgada pelas ondas. Criava-se, assim, um obstáculo à propagação das ondas, o qual do lado directamente atacado pelas ondas apresentava uma praia com a inclinação desejada e, do outro lado, uma transição inclinada de 1/1, por forma que as profundidades de água de ambos os lados do obstáculo eram iguais (Fig. 4 e 5).

O ponto 2 coincidia com o ponto de início da rebentação. Dada a evidente dificuldade de definir com precisão o ponto de início de rebentação usou-se o seguinte critério para definir o ponto 2: seria aquele ponto, nas vizinhanças da zona de rebentação, onde fosse máxima a altura da onda. A profundidade nesse ponto seria a profundidade de rebentação, referida ao nível de água em repouso. Para definir portanto o ponto 2,

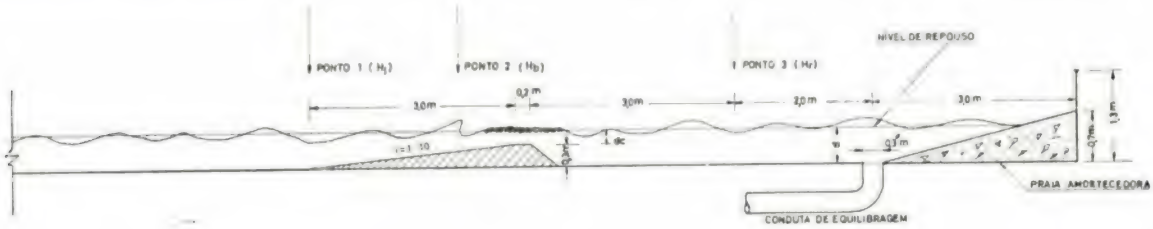


Fig. 4

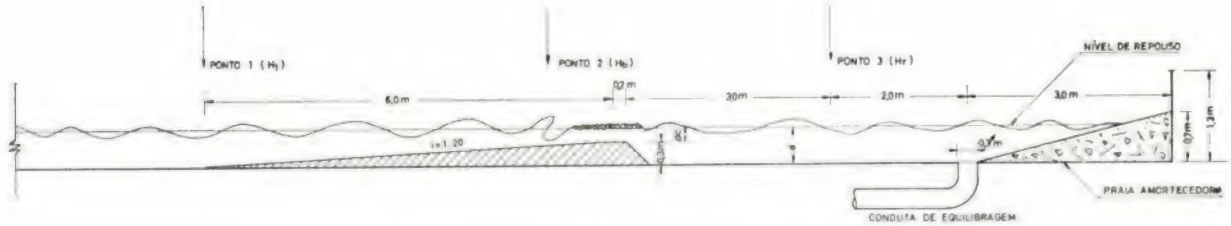


Fig. 5

Duas praias foram usadas nas experiências, ambas com superfície lisa de cimento. Uma (Fig. 4), com inclinação de 1 : 10, outra (Fig. 5) com inclinação de 1 : 20.

As alturas das ondas eram obtidas por registo eléctrico utilizando sonda de capacidade.

II-3 — *Processo experimental*

Embora a finalidade principal dos ensaios fosse a explicada na alínea anterior, aproveitou-se ainda a oportunidade proporcionada para obter alguns elementos sobre a relação entre a altura das ondas na rebentação e as profundidades de rebentação.

Para isso fizeram-se, para cada praia, medições de altura de onda em três pontos (pontos 1, 2 e 3 das Figs. 4 e 5).

O ponto 3 foi o mesmo para os ensaios com as duas praias.

O ponto 1 foi sempre o mesmo para cada praia e correspondia à máxima profundidade de água sobre a praia.

a sonda eléctrica era deslocada até se obter no registo um máximo de amplitude.

As profundidades de água usadas no canal foram quatro: de 30 cm, 32 cm, 34 cm e 36 cm. Em alguns casos houve necessidade de fazer algumas medições com uma profundidade de 35 cm de água no canal. Para a profundidade de 30 cm, o nível de água em repouso coincidia com a plataforma horizontal limite superior da praia. Adoptou-se para os ensaios uma escala geométrica de 1 : 100.

III — RESULTADOS DOS ENSAIOS SOBRE A MÁXIMA ALTURA DA ONDA REFORMADA

III-1 — *Praia de inclinação 1 : 10*

Os resultados estão condensados nos gráficos da Fig. 6, onde H_I é a altura da onda no ponto 1, H_r é a máxima altura da onda reformada no ponto 3 e d_c é a profundidade de água sobre a plataforma limite superior da praia.

Esses gráficos traduzem a variação de H_r com H_I para cada um dos valores de d_c e para os diferentes valores T do período de onda ensaiados (10 s, 12 s e 16 s).

Os quatro gráficos mostram em primeiro lugar que parece não haver, ao menos pronunciadamente, uma influência do período.

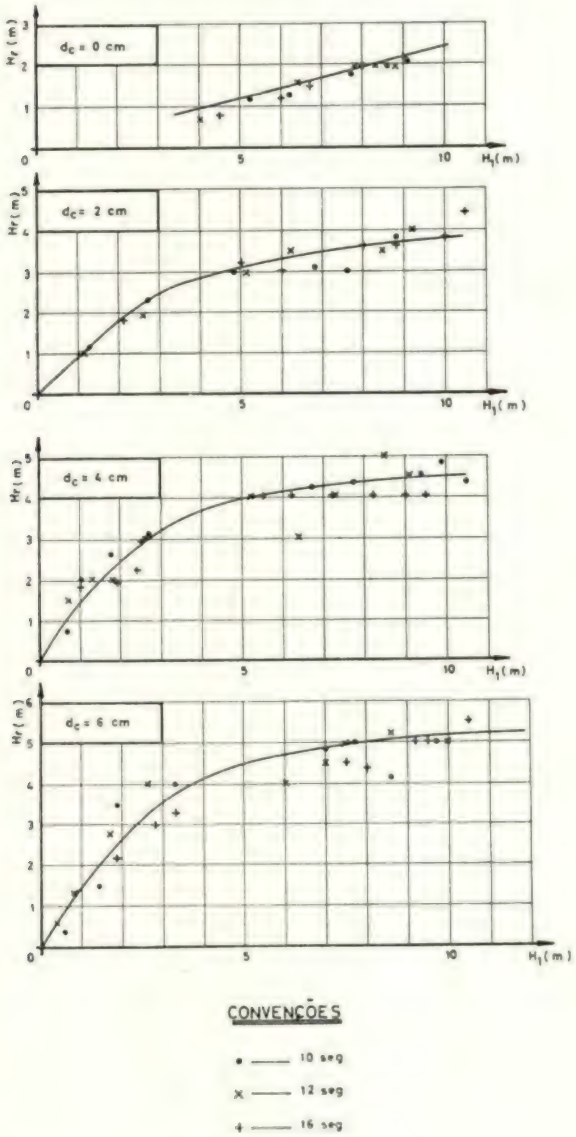


Fig. 6

Em segundo lugar, revelam os gráficos que, para cada valor do parâmetro d_c a derivada da curva média dH_r/dH_I tende a diminuir à medida que H_I aumenta, de tal forma que a partir de certos valores de H_I se observa que as variações de H_r podem deixar de ser consideradas. Reconhece-se ainda nos gráficos da Fig. 6 uma nítida influência do parâmetro d_c. Observa-se, na verdade, que para o mesmo valor de H_I o correspondente valor de H_r é tanto maior quanto maior for d_c o que aliás seria de esperar.

Note-se que só as ondas superiores a cerca de 3 a 4 m rebentavam nìtidamente sobre a praia para valores de d_c diferentes de zero.

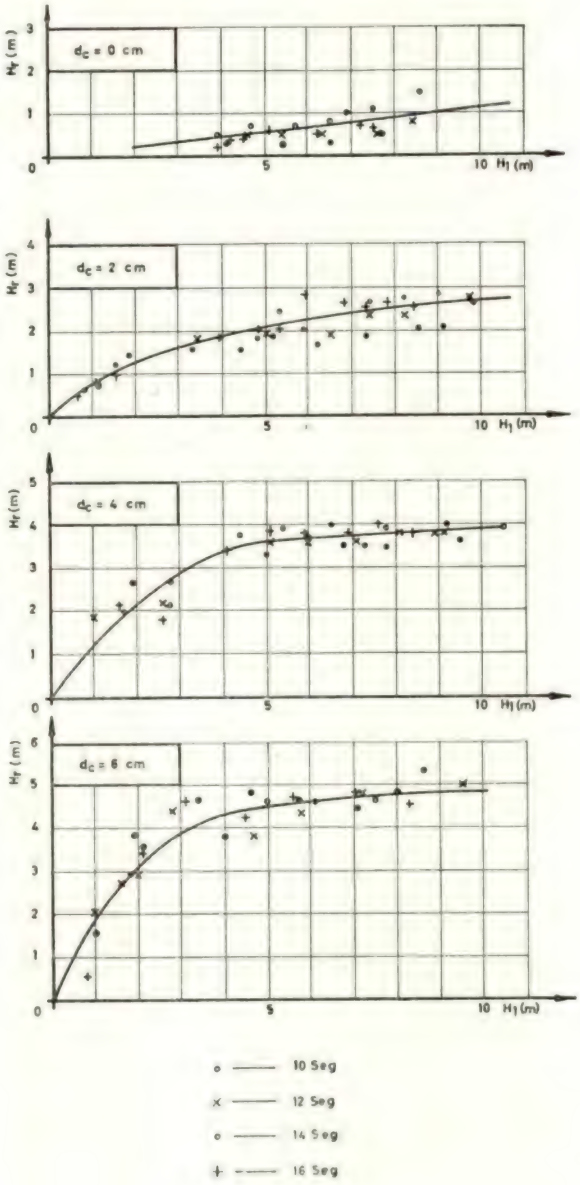


Fig. 7

III-2 — *Praia de inclinação 1 : 20*

Os resultados estão condensados nos gráficos da Fig. 7, onde se segue a mesma simbologia apresentada anteriormente em III-1.

O andamento das curvas é qualitativamente o das curvas da Fig. 6, pelo que a elas se podem

estender as mesmas considerações resultantes da observação da Fig. 6. Note-se entretanto que os ensaios com a praia de inclinação 1 : 20 abrangem agora o período de 14 s.

III-3 — *Comparação dos resultados obtidos com as duas praias*

A Fig. 8 compreende as curvas obtidas das Figs. 6 e 7. Da fig. 8 ressalta uma influência clara da inclinação da praia na lei de variação

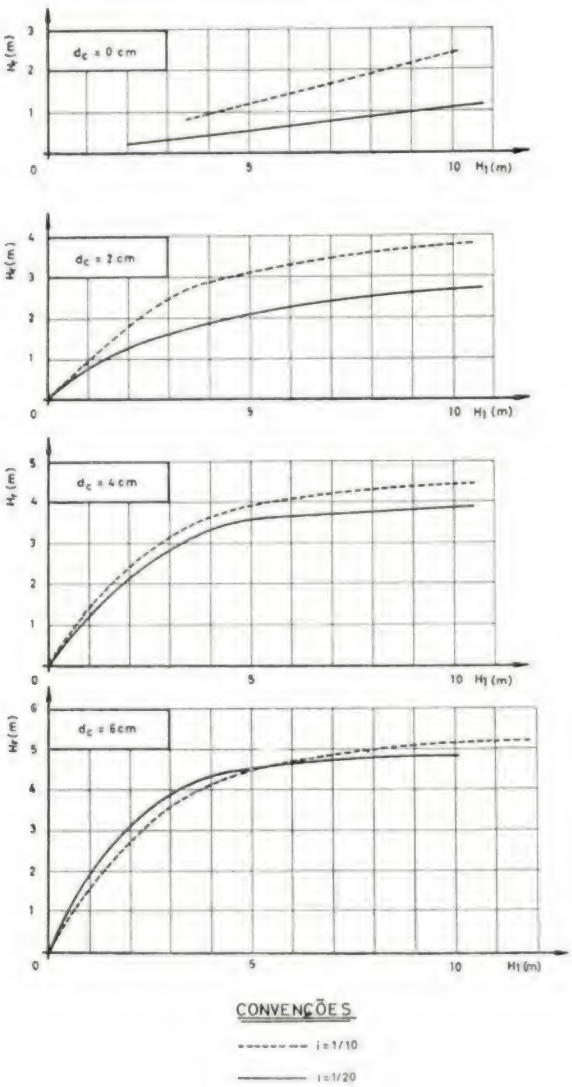


Fig. 8

de H_r com H_I, influência tanto maior quanto menor for d_c. Com efeito, nota-se que a influência da inclinação tende a anular-se já para d = 6 cm.

III-4 — *Considerações finais*

A finalidade dos ensaios que levaram à obtenção das curvas das Figs. 6 e 7 eram, como já foi dito, obter elementos justificativos da curva da Fig. 3 obtida durante o estudo em modelo do caso real apresentado no capítulo I. Procurava-se na verdade obter apenas uma justificação qualitativa, dado que a presença de fenómenos secundários presentes no modelo do caso real certamente não deixaria de exercer a sua influência.

Tentando explicar a forma da curva da Fig. 3 admitiu-se que na rebentação de uma onda a energia dissipada seria uma percentagem tanto maior da energia da onda incidente quanto maior fosse a altura desta onda, de tal forma que a altura máxima da onda reformada seria pràticamente independente da altura da onda incidente.

Ao tentar-se confirmar essa hipótese com base nas duas séries de ensaios realizados em canal não se visava, evidentemente, reconstituir a curva da Fig. 3, procurando-se apenas ver se nas condições esquemáticas impostas aos ensaios em canal resultavam curvas cujas formas admitissem a mesma hipótese explicativa formulada para a Fig. 3. É interessante observar que as Figs. 6 e 7 permitem aceitar aquela hipótese.

Já agora, não com o propósito de generalizar conclusões — generalização injustificada em face das diferentes condições em que foram obtidas a curva da Fig. 3 e as curvas das Figs. 6 e 7 — comparemos a Fig. 3 com estas duas últimas figuras no caso de ser $d_c = 6$ cm. Recorde-se que d_c é um parâmetro importante influindo sobre a variação de Hr com H_I e que a curva da Figura 3 foi obtida com base em medições feitas a profundidades no modelo correspondendo a cerca de 9 m. Para se fazer tal comparação, condensaram-se as três curvas na Fig. 9. A obser-

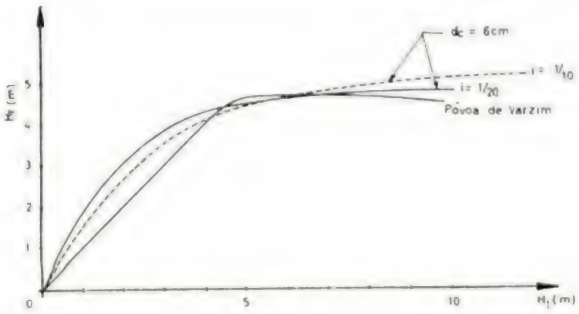


Fig. 9

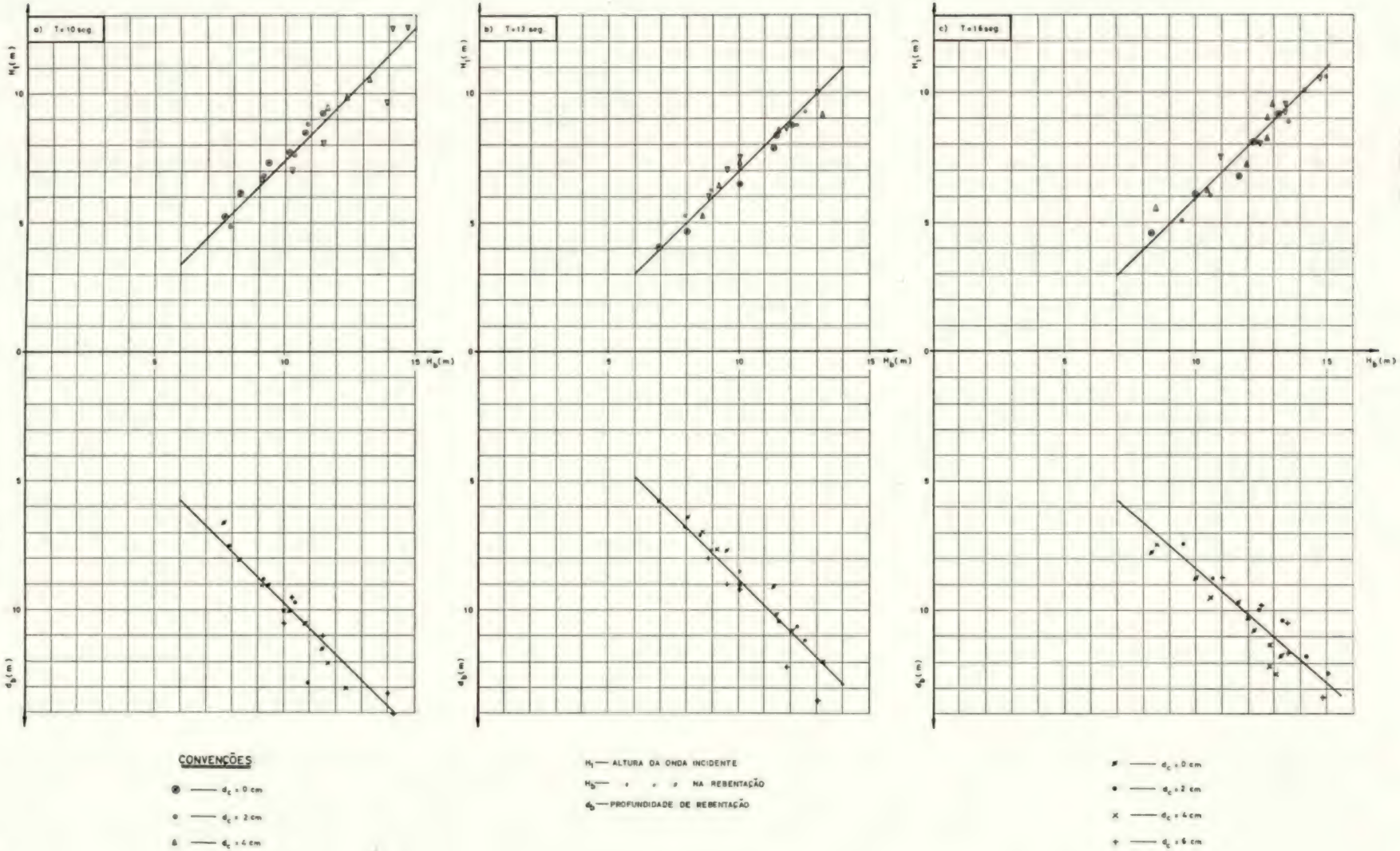

a) T=10 seg.
b) T=12 seg.
c) T=16 seg.
H_i (m)
H_b (m)
d_b (m)
0
5
10
15
CONVENÇÕES
d_c = 0 cm
d_c = 2 cm
d_c = 4 cm
d_c = 6 cm
H_i — ALTURA DA ONDA INCIDENTE
H_b — " " " NA REBENTAÇÃO
d_b — PROFUNDIDADE DE REBENTAÇÃO

Fig. 10

vação desta figura mostra-nos que as três curvas apresentam todas sensìvelmente o mesmo andamento, coincidindo pràticamente para valores de H_I para os quais as ondas rebentam antes dos pontos onde se mediram H_r.

O número de ensaios já realizados é considerado ainda insuficiente para permitir uma generalização dos resultados. Julgamos no entanto que estes são suficientemente animadores por forma a justificarem o seu prosseguimento. Pensa-se com efeito levar por diante esses estudos, tentando averiguar mais profundamente alguns dos parâmetros já investigados e observar a influência de novos parâmetros.

Em esquema, o plano de trabalhos previsto e a realizar na primeira oportunidade será o seguinte:

— Ensaio de praias com inclinações diferentes;
— Estudo da influência da profundidade de água no canal (d);
— Estudo de novos valores de d_c;
— Estudo da possível influência do parâmetro d_c / d;
— Estudo da influência da profundidade de água na zona de reformação da onda.

Este plano de trabalhos em que possìvelmente se ensaiarão novos períodos, permitirá averiguar qualquer influência da profundidade relativa e da declividade.

Nesta fase dos ensaios, apenas se poderá dizer que continua de pé a hipótese formulada inicialmente sobre o andamento da curva da Fig. 3:

A máxima altura de onda medida num ponto onde a onda chega depois de ter já rebentado é pràticamente independente ou muito pouco variável com a altura da onda antes de rebentar; a influência do período da onda parece poder ser desprezada, mas, por outro lado, aparecem como parâmetros importantes a profundidade de água em que se inicia a reformação da onda e a inclinação da praia sobre que rebenta a onda.

IV — ALTURA DA ONDA NA REBENTAÇÃO E PROFUNDIDADE DE REBENTAÇÃO

IV-1 — *Apresentação dos resultados com a praia inclinada de 1:10*

As condições experimentais para esta fase dos ensaios foram as mesmas dos ensaios descritos no capítulo III. Os resultados foram primeiramente traduzidos nas curvas da Fig. 10 (a, b, c).

Essas curvas mostram que para cada período a altura da onda na rebentação e a profundidade de rebentação são pràticamente independentes da profundidade de água no canal e que, dentro da gama de alturas H_I ensaiada, a variação de H_b e a de d_b se podem considerar rectilíneas.

Tomando agora as rectas obtidas nos gráficos das Figs. 10, como representando a variação de d_b e H_b com H_I, calcularam-se os valores de H'_o* e L_o* a partir de d e de L (comprimento de onda à profundidade d) para cada período ensaiado e traçaram-se as curvas da Fig. 11. Estas

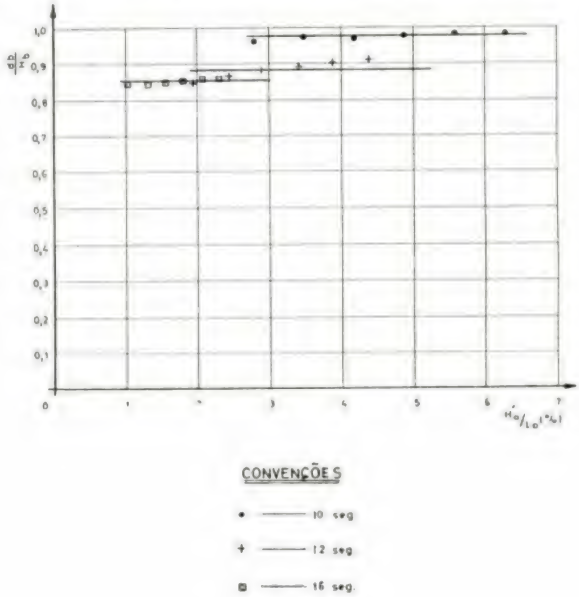


Fig. 11

curvas traduzem a variação de d_b/H_b com H'_o/L_o (declividade de onda ao largo). Vê-se que, dentro da gama de valores coberta pelos ensaios d_b/H_b é pràticamente independente da declividade ao largo para o mesmo período, crescendo no entanto à medida que o período decresce.

Assim, para T = 10 s tem-se $d_b/H_b = 0{,}975$, para T = 12 s tem-se $d_b/H_b = 0{,}88$ e, para T = 16 s, $d_b/H_b = 0{,}85$.

IV-2 — *Apresentação dos resultados com a praia inclinada de 1:20*

As condições experimentais para esta fase dos ensaios continuam a ser as mesmas descritas no capítulo III.

* — H'_o é a altura da onda em águas profundas, onde o comprimento de onda é L_o.

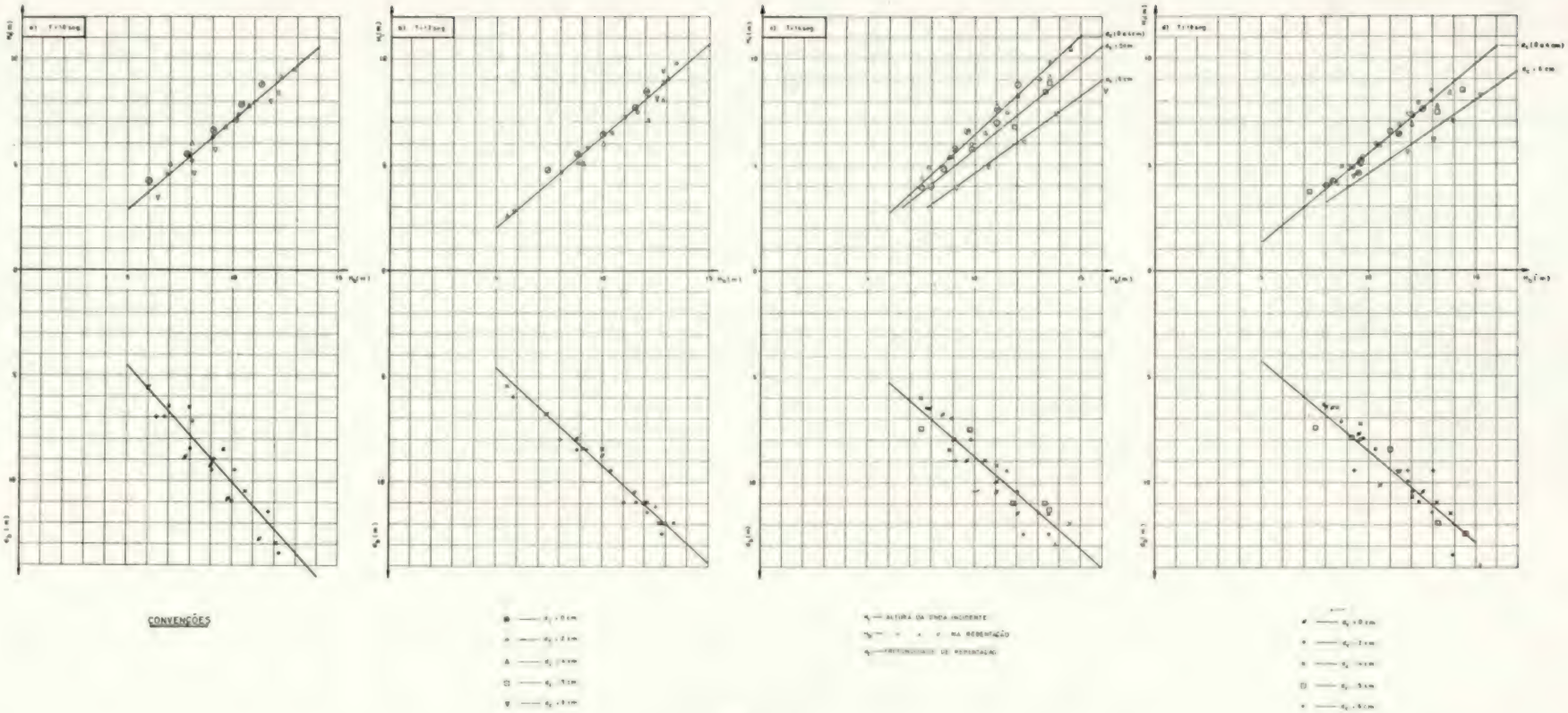


Fig. 12

Em relação aos ensaios com a praia de 1:10, introduz-se agora a série de ensaios com o período de 14 s. Como se verá, houve também necessidade de, nos ensaios com os períodos de 14 e 16 s. introduzir uma nova profundidade de água no canal :

$$d = 35 \text{ cm, ou seja } d_c = 5 \text{ cm.}$$

Com efeito, para os períodos de 10 e 12 s, e a exemplo do que se verificava com a praia de inclinação 1:10, reconhece-se que para cada um dos períodos a altura da onda na rebentação e a profundidade de rebentação são pràticamente independentes das profundidades ensaiadas ($d_c^{(1)} = 0, 2, 4$ e 6 cm) e que, dentro da gama de alturas H_1 experimentada, a variação de H_b e a de d_b se podem considerar rectilíneas. Ver Fig. 12 (a, b).

Porém no respeitante aos períodos de 14 e 16 s, os gráficos da Fig. 12 (c, d), conduziram às mesmas conclusões apenas para valores de d_c (altura de água sobre o limite superior da praia) variando de O a 4 cm. Na realidade, os pontos correspondentes a $d_c = 6$ cm mostraram para estes períodos nítida tendência para se afastarem da recta representativa dos resultados experimentais que traduzem a variação de H_b com H_1 quando d_c varia de O a 4 cm. Tão nítido afastamento fez supor uma influência de profundidade relativa, pelo que se resolveu ensaiar uma profundidade intermédia : $d_c = 5$ cm. Notou-se — de forma mais clara com o período de 14 s — que os pontos correspondentes a esta nova profundidade tendiam a cair entre a recta representativa de d_c igual ou menor que 4 cm e a provável recta representativa de $d_c = 6$ cm. Portanto, aceita-se como provável uma influência da profundidade relativa na variação de H_b com H_1, influência essa que não pode ser claramente definida em face dos ainda reduzidos ensaios efectuados. Reconhe-se ainda que a provável influência da profundidade relativa notada na variação H_b (H_1) não se revela na variação d_b (H_b). Isto é, a exemplo do já verificado com a praia de inclinação 1:10, com a praia 1:20 pode-se aceitar uma variação linear de d_b com H_b, sendo a lei de variação dependente exclusivamente do período.

A Fig. 13 traduz a variação de d_b / H_b com H'_o / L_o, obtida de forma análoga à seguida na figura correspondente no caso da praia 1 : 10. O interesse dessa figura reside no facto de novamente desaparecer o efeito da profundidade relativa constatada na variação de H_b para os períodos de 14 e 16 s. Isto é, tudo parece indicar que, embora a variação de H_b com H_1 (e consequentemente com H'_o) seja influenciada pela profundidade relativa, a relação d_b / H_b varia de tal modo que este último parâmetro deixa de ser influenciado pela profundidade relativa.

Da Fig. 13 tira-se que, dentro da gama de valores de H_1 coberta pelos ensaios, d_b / H_b é igual a 1, quando T = 10 s, é igual a 0,93 quando T = 12 s, é igual a 0,89 quando T = 14 s é igual a 0,86 para T = 16 s. Isto é, não parece haver uma diferença acentuada entre estes valores e os correspondentes à praia 1 : 10, embora se note uma leve tendência para d_b / H_b ser maior, para o mesmo período, na praia a 1 : 20.

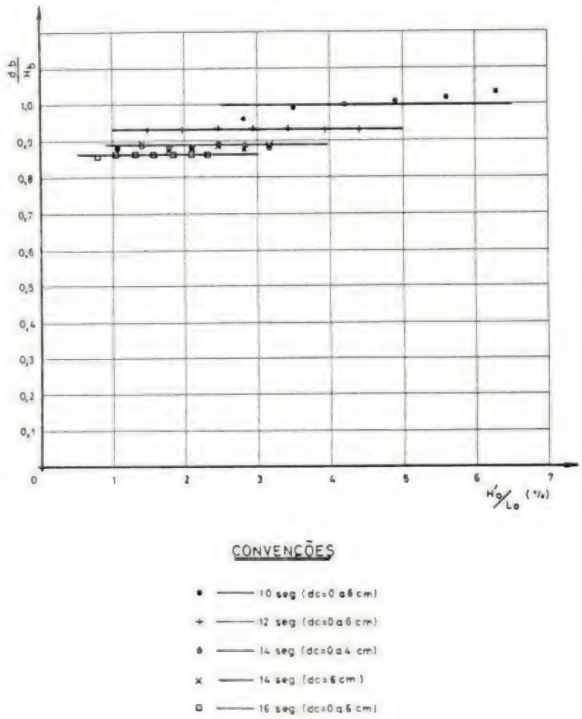


Fig. 13

IV-3 — *Considerações gerais sobre os resultados dos ensaios com as duas praias*

Dentro do domínio de valores interessados pelos ensaios podem-se resumir as seguintes conclusões :

1.º — A variação de d_b com H_1 (consequentemente com H'_o) é apenas função do período, não sendo aparentemente influenciada pela pro-

fundidade relativa, para as duas inclinações de praias experimentadas;

2.° — A variação de H_b com H_I parece depender não só do período, mas ainda da profundidade relativa, sendo a influência deste parâmetro nítida com a praia de inclinação 1 : 20;

3.° — A variação de d_b/H_b em função da declividade da onda ao largo é apenas função do período da onda, não acusando efeitos nítidos da variação da profundidade relativa, apesar da provável influência deste factor na altura de rebentação H_b;

4.° — O parâmetro d_b/H_b parece ser pouco sensível à inclinação da praia e variar entre 0,85 (T = 16 s) e 1,0 (T = 10 s).

IV-4 — *Discussão dos resultados obtidos em face dos resultados de outros laboratórios*

Vários têm sido os autores que se têm preocupado com a determinação de relações entre a profundidade de rebentação e a altura da onda na rebentação. Grande número desses ensaios têm sido feitos em laboratório, quase sempre com ondas de oscilação, algumas vezes utilizando ondas solitárias. A. T. Ippen e G. Kulin, do Massachusetts Institute of Technology, em trabalho apresentado à 5 th Conference on Coastal Engineering, sob o título «The shoaling of the Solitary Wave», apresentam, ao lado dos resultados das suas próprias experiências laboratoriais, os resultados a que chegaram outros investigadores que trabalharam com ondas de oscilação. Nas suas experiências usaram inclinações de praias variando de 0,023 a 0,05.

Os elementos que a seguir se apresentam são tirados do citado trabalho de Ippen e Kulin.

Autor	Inclinação da Praia	d_b/H_b (médio)
Iversen (Lab.)	1 : 20 1 : 10	1,19 0,97
Larras (Lab.)	1 : 11	1,34
Munk (Lab. e Natureza)	—	1,33
Ippen e Kulin	1 : 20	0,71

Da observação dos resultados, estes podem ser agrupados em 3 grupos relativos a valores médios de d_b/H_b:

Iversen	≃	1,1
Ippen e Kulin	≃	0,71
Larras e Munk	≃	1,33

Sendo os dois primeiros grupos referentes a ondas de oscilação, resulta que estas rebentam sempre a profundidades maiores que as ondas solitárias (Ippen e Kulin).

Admitindo que todas as outras condições experimentais eram análogas, uma diferença há no entanto entre as experiências com ondas de oscilação e com ondas solitárias e que pode, por si só, justificar em grande parte as diferenças que ressaltam dos valores experimentais atrás transcritos.

Trata-se, evidentemente, da corrente de retorno presente nas experiências com ondas de oscilação e ausente nos ensaios com a onda solitária. Compreende-se que essa corrente, atrasando o movimento das partículas mais profundas da onda e aumentando consequentemente a velocidade relativa das partículas superficiais, obrigue a onda a rebentar a profundidades maiores que aquela a que rebentaria na ausência da corrente de retorno.

Julgamos que os resultados obtidos nas condições dos ensaios descritos neste trabalho poderão confirmar a opinião que se acaba de expor.

Com efeito, dadas as condições experimentais em que decorreram os nossos ensaios, pode-se dizer que pràticamente a corrente de retorno foi anulada ou, pelo menos, fortemente atenuada. De facto, nestas experiências, a massa da água transportada pela onda na rebentação passava livremente sobre a plataforma limite superior da praia para uma zona de relativamente grande profundidade estendendo-se numa extensão da ordem dos 7 metros até à praia dissipadora disposta no fundo do canal. Além disso, esse colchão de água disposto por trás da praia encontra-se ligado por uma tubagem de 0,3 m de diâmetro à extremidade oposta do canal, estabelecendo-se assim um franco equilíbrio de níveis entre as zonas do canal antes e depois da rebentação.

Recordando os valores de d_b/H_b obtidos nos nossos ensaios (entre 0,85 e 1,0), vemos que

eles se situam entre os valores fornecidos pelas experiências laboratoriais com ondas de oscilação incluindo correntes de retorno e as dos ensaios com ondas solitárias. Da comparação dos resultados aqui registados com os dos ensaios anteriormente publicados, pode-se já fazer uma ideia da infiuência da corrente de retorno na rebentação das ondas.

Por outro lado, reconhece-se que o parâmetro d_b/H_b varia com o período da onda, sendo tanto menor quanto mais longa for esta. Recorde-se que, enquanto com o período de 10 s, d_b/H_b tem valor próximo de 1,0, com 16 s o valor de d_b/H_b passa a 0,85 enquanto com as ondas solitárias experimentais d_b/H_b tem valor médio de ordem dos 0,71, para uma inclinação de 1:20.

Sob este aspecto, parece plausível aguardar-se que futuros ensaios com ondas mais longas que as agora ensaiadas venham a confirmar as teorias matemáticas que reconhecem a onda solitária como caso limite das ondas de oscilação de longo período.

Tenha-se no entanto em mente que as ondas solitárias de que se lançou mão para comparação dos resultados aqui patentes são ondas experimentais. Os resultados previstos pelas teorias das ondas solitárias consideram a rebentação da onda sobre um fundo horizontal e, conforme os autores, chegam-se a valores de d_b/H_b variando de 0,97 (Packham) a 1.37 (Boussinesq), parecendo ser mais aceite o valor fornecido por McCowan (1,28). O declive do fundo sobre que rebenta a onda solitária tem, segundo Ippen e Kulin, importância considerável, fornecendo estes autores valores médios de d_b/H_b da ordem de 1,1 para um declive de 0,023 e de 0,71 para um declive de 0,05. Para comparação dos nossos resultados lançou-se mão dos dados fornecidos por Ippen e Kulin para o declive de 0,05, igual a um dos declives agora ensaiados (1:20).

V — COMENTÁRIOS FINAIS

O presente relatório não pretende de forma alguma ter esgotado o vasto campo de investigação que representa o aprofundamento do conhecimento dos fenómenos processados na rebentação das ondas. Mesmo dentro do limitado capítulo agora abordado, muito, quase tudo, fica ainda para ser devidamente aprofundado. Consequentemente, os resultados agora apresentados não deverão ser generalizados. O maior interesse atribuído aos resultados dos trabalhos agora expostos reside ùnicamente na possibilidade de se poder dar uma melhor interpretação aos resultados — por vezes aparentemente contraditórios — das experiências laboratoriais e da observação na natureza, relativas a certas características das ondas na rebentação.

A técnica experimental seguida nos ensaios, permitindo pràticamente anular ou reduzir consideràvelmente a corrente de retorno na zona de rebentação, tornou possível estabelecer um elo de ligação entre os resultados de experiências já realizadas com ondas de oscilação e os da onda solitária

O alargamento por futuros ensaios do campo de experimentação já coberto pelo presente trabalho poderá confirmar a tendência dos resultados já conseguidos para assemelhar às ondas solitárias as ondas de oscilação de período suficientemente longo.

BIBLIOGRAFIA

A. T. Ippen and G. Kulin — «The Shoaling and Breaking of the Solitary Wave». 5th Conference on Coastal Engineering 1955.

R. L. Wiegel — «Experimental Study of Surface Waves in Shoaling Water» *Transactions*, American Geophisical Union, June 1950.

P. S. Eagleson — «Properties of Shoaling Waves by Theory and Experiment» *Transactions*, American Geophisical Union, October, 1956.

H. W. Iversen — «Laboratory Study of Breakers». Gravity Waves National Bureau of Standards, Circular 521.

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa — «Assoreamento no porto da Póvoa do Varzim. Estudo das Condições de Agitação no Porto». Relatório, Dezembro 1960.

J. P. Castanho — «O Estudo da Agitação nos portos por meio de Modelos Reduzidos «Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Memória 38, Lisboa 1953.

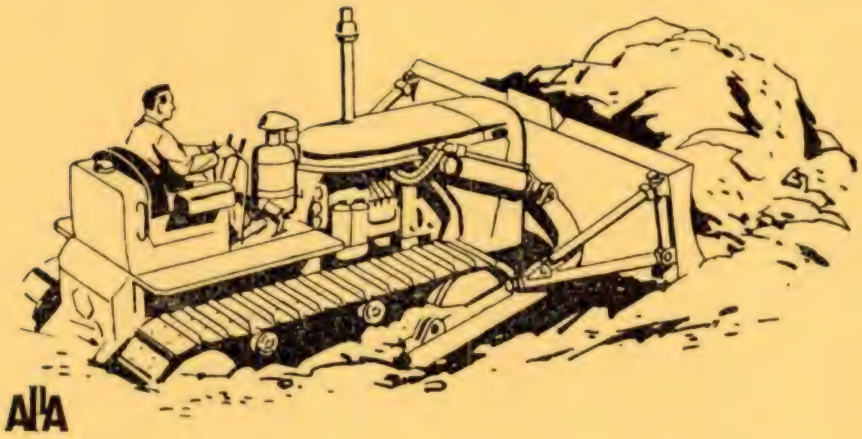
BREAKING WAVES

SUMMARY

Laboratory tests for determining the height of reformed waves after breaking on gentle slopes belonging to submerged obstacles are described. The measured values of the ratio breaking depth/breaking wave height are presented and compared with values already published. It is shown that the present results tend to confirm the mathematical theories which consider solitary wave as the limiting case of oscillatory wave.

CATERPILLAR*

TRACTORES DE RASTO E DE RODAS • PÁS MECÂNICAS (TRAXCAVATORS*) DE RASTO E DE RODAS • ESCARIFICADORES • BULLDOZERS SCRAPERS • MOTONIVELADORAS



MOTORES INDUSTRIAIS
GRUPOS ELECTROGÉNEOS
MOTORES MARÍTIMOS
ASSISTÊNCIA
PEÇAS SOBRESSALENTES
REPARAÇÕES

REPRESENTANTES EXCLUSIVOS EM
PORTUGAL, ILHAS ADJACENTES, CABO VERDE E GUINÉ

STET

SOCIEDADE TECNICA DE EQUIPAMENTOS E TRACTORES, LDA.

SEDE PROVISÓRIA: AV. DE MADRID, 3 - B – LISBOA 1
TELEFS.: 72 40 53 (P P C /A), 71 06 20 – TELEGS.: STETRA

* «CATERPILLAR» E «TRAXCAVATOR» SÃO MARCAS REGISTADAS DE CATERPILLAR TRACTOR CO.

CATERPILLAR*

apresenta

OS NOVOS MOTO-SCRAPERS

619, 630 e 631

EQUIPADOS COM CAIXA DE VELOCIDADES
SERVO-COMANDADA SISTEMA "POWER SHIFT"

	POTÊNCIA	CAPACIDADE
619	280 HP	14 m3
630	420 HP	27 m3
631	420 HP	22 m3

DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO EM PORTUGAL CONTINENTAL, ILHAS AJACENTES, CABO VERDE E GUINÉ

STET

SOCIEDADE TECNICA DE EQUIPAMENTOS E TRACTORES, L.DA

SEDE PROVISÓRIA: AV DE MADRID, 3-B — LISBOA 1

TELEFS. 72 40 53 (PPC/A) 71 06 20—TELEG «STETRA»

*«CATERPILLAR» É MARCA REGISTADA DE CATERPILLAR TRACTOR, CO.-PEORIA, ILLINOIS-E. U. A.

C. D. U. 669.13.017 : 620.18

A ANÁLISE METALOGRÁFICA DE GUSAS

Pelo Eng.º Químico (I. S. T.) P. REIS DOS SANTOS

O actual desenvolvimento da indústria metalúrgica no nosso país tem provocado um crescente interesse pelas técnicas metalográficas como ferramenta indispensável ao controle dos produtos fabricados. Não podemos, no entanto, encarar estas técnicas como um sucedâneo da análise química elementar; a metalografia fornece, na verdade, elevada quantidade de informação sobre os produtos que estuda, mas visa outros aspectos que a análise química não pode incluir no campo da sua actividade. Efectivamente, esta não se «apercebe» do modo por que se distribuem os diferentes elementos que doseia. Um caso típico é o da distribuição do carbono livre nas gusas e, todavia, ela é o factor mais importante que controla a aplicação destes materiais.

Por outro lado, a análise metalográfica é absolutamente indispensável na determinação das causas de destruição dos metais e, especialmente, em casos de corrosão. Microfissuras, porosidades, etc., podem não ser fàcilmente localizadas com os ultra sons, e a técnica de magnetização e observação sob radiações ultravioletas apenas é útil na detecção de defeitos superficiais e sub-superficiais.

No caso de gusas cinzenta e «maleável» a necessidade da aplicação de técnicas metalográficas é flagrante. Efectivamente, a composição química elementar pode ser muito semelhante nestes dois tipos de gusa e, no entanto, as propriedades físicas serão muito diferentes. Assim, o exame micrográfico de uma gusa cinzenta revelará a existência de placas de grafite que, quebrando a continuidade da matriz, tornará o material fraco e pouco dúctil. Por outro lado, o exame de um provete de gusa «maleável» mostrará que o carbono livre se dispõe em partículas arredondadas que não enfraquecem a matriz; consequentemente, este material apresenta melhor formabilidade, ductilidade e resiliência.

A partir da análise química elementar podemos, todavia, tirar conclusões — ainda que aleatórias — sobre a estrutura, como veremos adiante.

Se é fácil reconhecer a utilidade da análise metalográfica, já a formação de pessoal técnico apresenta certas dificuldades; este tipo de técnico formar-se-á graças á análise de diversos «casos» metalográficos, como o radiologista à custa do estudo de variados «casos clínicos».

Gusas

É usual descrever uma gusa como uma liga de carbono e ferro de teor em carbono superior a 2 %. Metalogràficamente uma gusa apresenta-se como um produto de matriz semelhante a um aço embebendo ou não carbono livre.

Podemos, assim, considerar dois tipos de carbono: combinado (C_c) e livre (C_l); se a gusa não tem carbono livre designa-se por gusa branca e o seu estudo é muito semelhante ao de um aço; se a gusa contém carbono livre designa-se por gusa cinzenta. No primeiro caso basta descrever a matriz para caracterizar a liga enquanto no segundo devemos atender à forma por que se apresenta o carbono livre. Assim, podemos utilizar as designações vermiforme, nodular e esferoidal para o caracterizar quanto à forma; tem, igualmente, muito interesse a referência, ao intervalo de temperaturas em que ele precipita e, assim, adopta-se a classificação complementar:

— *Kish*, se se forma acima do *liquidus*;

— pro-eutéctica, se se forma no intervalo de solidificação;

— eutéctica, se precipita à temperatura eutéctica ou no intervalo trifásico contendo as fases γ, grafite e líquido;

— pro-eutectóide, se provém de uma transformação no estado sólido antes de atingida a temperatura ou intervalo eutectóide.

Finalmente, é indispensável fazer referência à classificação adoptada pela ASTM em que a grafite é dividida em cinco tipos conforme o aspecto que apresenta; pode ainda anotar-se a dimensão

média dos veios atribuindo um número correspondente a um intervalo de comprimentos.

É usual classificar a matriz segundo o esquema:

— perlítica;
— ferrítica;
— martensítica;
— bainítica;
— austenítica.

No estudo metalográfico deve dar-se especial atenção aos elementos químicos presentes susceptíveis de modificar a estrutura e à velocidade de arrefecimento.

Ao contrário dos aços comuns os teores em silício, fósforo, enxofre e manganésio podem atingir, nas gusas, valores elevados e, portanto, o seu efeito deve ser examinado pelo metalógrafo. Consideremos cada um dos elementos supracitados, o seu efeito no diagrama de equilíbrio ferro-carbono e aspecto micrográfico.

O silício pode variar muito nas gusas e atingir valores de cerca de 5 %. Este elemento modifica profundamente o diagrama de equilíbrio ferro-carbono obrigando mesmo a considerar o diagrama ternário ou — o mais usual — cortes neste diagrama para diferentes teores em silício. Efectivamente, com o aumento de quantidade deste elemento o intervalo de solidificação estreita-se com abaixamento do *liquidus*; a sua presença cria domínios trifásicos nas regiões eutécticas, eutectóides e no intervalo de solidificação. Sempre que se pretende fazer o estudo de arrefecimento de uma liga de carbono, ferro e silício é necessário consultar o diagrama ternário; é usual considerar-se o teor em carbono equivalente, i.e., um teor de carbono função das quantidades de silício e fósforo presentes mas convém notar que aquele valor tem apenas interesse na classificação da gusa quanto à sua posição em relação ao ponto eutético. Veremos adiante o estudo do arrefecimento de uma liga de carbono, ferro e silício.

A presença do silício favorece a reacção $CFe_3 \rightleftarrows 3\,Fe + C_l$; trata-se, portanto, de um elemento grafitizante. O teor em silício pode, assim, ser avaliado micrográficamente pela quantidade de grafite presente admitindo que os outros elementos não interferem na grafitização.

O fósforo, que atinge teores de 1,7 %, combina-se com o ferro para dar o fosforeto PFe_3; dado o baixo ponto de fusão (950° C) ele é sempre segregado. Micrográficamente este elemento apresenta-se num eutéctico fosforoso constituido por ferrite, fosforeto de ferro e cementite. Se o eutéctico contém os dois primeiros componentes citados diz-se binário ou esteadite e o seu aspecto é o da figura 1; este tipo de eutéctico fosforoso é usual nas gusas cinzentas e em ligas arrefecidas lentamente. Para teores superiores a 0,7 % o eutéctico fosforoso pode formar uma rede enfraquecendo o material, uma vez que é duro e quebradiço; convém notar que a sua acção grafitizante é tão fraca que se pode desprezar.

O enxofre apresenta-se nas gusas em teores inferiores a 0,20 %. Para evitar os efeitos perniciosos deste elemento adiciona-se manganésio a fim de provocar a formação do sulfureto de manganésio que é segregado sob a forma de glóbulos ou cristais idiomórficos.

Na ausência de manganês, o enxofre é segregado para os limites de grão tal como o fósforo; a sua presença pode ser revelada utilizando o método de Baumann. O enxofre combina-se com o ferro para formar o sulfureto mas, devido à

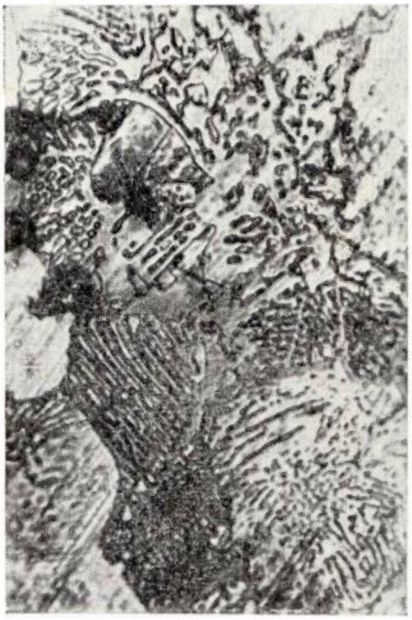


Fig. 1 — Eutéctico fosforoso binário (esteadite) revelado com o reagente de Murakami. Liga com 1,65 % de fósforo (caso III). Ampliação: ca. 1000 diâmetros.

fraca solubilidade deste composto no ferro abaixo do *liquidus* e, principalmente, abaixo de solidus, o sulfureto é rejeitado pela solução sólida — durante o arrefecimento da liga — sob a forma

de inclusões cor de latão. A adição de manganésio provoca a precipitação do sulfureto de manganésio; esta precipitação dar-se-á a temperaturas tanto mais elevadas quanto maior for a quantidade presente daquele elemento; as inclusões de sulfureto de manganésio têm uma cor acizentada. O enxofre é um estabilizante da cementite tornando-se mesmo inibidor da decomposição deste componente acima de determinado teor; a sua presença tende, pois, a endurecer a gusa.

O manganésio apresenta-se, nas gusas, em teores — geralmente — inferiores a 1 % (0,5 — 0,7 %) e combina-se com o enxofre, como tivemos ocasião de referir, e com o carbono para formar o carbureto CMn_3.

O manganésio é um estabilizante da cementite e, em excesso, pode mesmo anular a acção grafitizante do silício. Todavia, o enxofre tem mais afinidade para o manganésio que para o ferro; assim, a adição do manganésio decompondo o sulfureto de ferro, que é um estabilizador da cementite, tem uma acção inicial gratifizante; esta acção é máxima — para teores usuais de enxofre — quando existe em percentagem superior a cerca de 0,3 % à necessária para se formar, teòricamente, o sulfureto de manganésio, i. e., % Mn = 1,72 % S + 0,35 %.

O quadro I permite estabelecer as composições química aproximada e estrutural a partir do conhecimento da composição química elementar.

No estabelecimento da composição química aproximada admitimos que o enxofre se combinava inicialmente com o manganésio, o excesso deste elemento ia formar com o carbono o carbureto CMn_3; o restante carbono combinava-se com o ferro para formar cementite; o excesso de ferro reagia com o fósforo e com o silício. Para o estabelecimento da composição estrutural admitimos que os pesos atómicos do ferro e do carbono eram 56 e 12, respectivamente; o composto CFe_3 continha, portanto, 6,67 de carbono e, assim, uma parte de carbono produzia 15 partes de cementite. Se admitirmos que a percentagem de carbono na perlite é 0,85 concluímos que esta conterá 12,75 % de cementite e 87,25 % de ferrite; chegamos então à conclusão de que por

QUADRO I

Dedução das composições química aproximada e estrutural a partir da composição química elementar

Compoição elementar		Composição química aproximada	Composição estrutural		
			Hipoeutectóide	Eutectóide	Hipereutectóide
			$A < 0$	$A = 0$	$A > 0$
% S	$\times$ 2,7	S Mn	S Mn	S Mn	S Mn
(% Mn	— 1,6) $\times$ 1,07	C Mn_3	Perlite = 117 C_c		Perlite = 1,15 (100 - 15 C_l - -Eut. Fosf.- C_l)
(% C_c	— CMn_3 .0,05).1,5	C Fe_3			
% P	$\times$ 6,4	P Fe_3			
	$\times$ 10	—	Eutéctico fosforoso		
% Si	$\times$ 3	SiFe	*	*	*
(% C_l)		(C_l)	(C_l)	(C_l)	(C_l)
% Fe **		Fe **	Ferrite**	—	Cementite**

$A = 100 - 117.\%C_c - (\%C_l) - 10.\%P.$

*, dissolvido na ferrite;

**, obtido por diferença.

cada parte de cementite teremos 6,8 ferrite ou 7,8 de perlite. O produto em estudo terá, portanto, uma estrutura perlítica se,

$$A = 100 - (C_l) - C_c \,.\, 15 \,.\, 7{,}8 - \text{Est.} = 100 - \\ - (C_l) - 117\ C_c - \text{Est.} = 0$$

O produto terá uma estrutura hipoeutectóide se existir carbono em defeito em relação à estrutura perlítica e, portanto, a relação anterior virá $A > 0$; o produto terá uma estrutura hipereutectóide se existir carbono em excesso e a relação em estudo virá $A < 0$. O sulfureto de manganês apresenta-se sob a forma de inclusões enquanto o eutéctico de fósforo se apresentará segregado devido ao seu baixo ponto de fusão; segundo os trabalhos de Stead este eutéctico é dez vezes superior ao teor em fósforo da amostra. O cálculo da perlite, nas estruturas hipoeutectóides e eutectóides, baseia-se no facto de toda a cementite se encontrar associada à ferrite; no caso de uma estrutura hipereutectóide o cálculo do teor em perlite terá de ser feito a partir de teor em ferrite uma vez que nem toda cementite está combinada.

O segundo aspecto que merece muito interesse é a velocidade de arrefecimento da liga. Se se trata de uma liga hipoeutéctica, as dendrites de austenite primária que se formam a partir do líquido apresentar-se-ão em dimensões que são função da velocidade de arrefecimento; se esta velocidade é grande, o intervalo de solidificação é percorrido num curto espaço de tempo e as dendrites não têm tempo de se desenvolver; elas tendem a crescer na direcção em que se dá o arrefecimento e o seu comprimento é função do gradiente térmico; assim, as dendrites têm tendência a crescer em direcções perpendiculares à superfície da peça.

Devido à presença de silício nas gusas formam-se domínios trifásicos, como tivemos ocasião de ver, e, assim, o eutéctico já não solidifica a uma determinada temperatura mas num intervalo de temperaturas tanto mais extenso quanto mais elevado for o teor em silício. Sendo assim, temos de considerar a eventual formação de centros de cristalização durante o arrefecimento do eutéctico, centros esses, constituídos por grafite, que se desenvolverão de acordo com a velocidade de arrefecimento; tudo se passa como no caso da formação das dendrites de austenite primária sendo apenas diferente o tipo de nucleação.

O arrefecimento lento favorece, tal como a presença do silício, a decomposição da cementite em ferrite e carbono livre. Se o arrefecimento é rápido — uso de moldes metálicos ou vazamento de peças pequenas e finas — a decomposição da cementite processa-se com dificuldade. A figura 2, mostra o aspecto de uma liga em que o arrefecimento se

Fig. 2 — Parte mais estreita de uma cunha obtida por vazamento de uma gusa de composição seguinte: $C_t = 3{,}25\ \%$; $Si = 2{,}36\ \%$; $S = 0{,}08\ \%$; $Mn = 0{,}54\ \%$; $P = 0{,}58\ \%$. Superfície atacada com picral: núcleos de grafite disseminados num meio formado de dendrites de austenite primária transformada rodeadas de cementite. Devido ao rápido arrefecimento observam-se dendrites muito alongadas e elevada quantidade de cementite. Ampliação: 100 x.

deu ràpidamente: pequenos e raros centros de cristalização ($Si = 2{,}36\ \%$!) disseminados em cementite e dendrites de austenite primária muito alongadas.

Sob maior aplicação vê-se (fig. 3) que a cementite está associada à perlite e ferrite o que é vulgar em peças muito estreitas (provete estudado).

O fenómeno de sobrefusão, devido à ausência de centros de germinação, é igualmente muito importante no estudo do arrefecimento de uma liga e, portanto, no aspecto micrográfico; a inoculação destinada a evitar aquele fenómeno por criação de centros de germinação artificiais deve também ser considerada.

Ataque químico

Como se sabe, após o polimento final é necessário atacar a superfície metálica com determinados reagentes com os objectivos de destruir a camada cristalina — amorfa (camada de Beilby) e revelar a estrutura do provete.